



Universidad Nacional de Ingeniería
Centro de Investigaciones y Estudios en Medio Ambiente

TITULO

**ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO
TOTAL) PROVENIENTE DE LA CUENCA DE DRENAJE SUPERFICIAL DE LA ISLA
OMETEPE HACIA EL LAGO COCIBOLCA**

**Tesis sometida a la consideración del Centro de Investigación y
Estudios en Medio Ambiente para optar al título de Maestro en Ciencias Ambientales**

Tesistas:

MSc. Gabriela Solórzano Morales
MSc .Rubén Urbina Juárez

Tutor:

MSc. Mauricio Lacayo Escobar

Managua Nicaragua
Julio, 2009



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Managua 23 de Mayo del 2008

MSc Lúa Toruño
Coordinadora Maestría Ciencias Ambientales
CIEMA-UNI
Su despacho

Estimada MSc Toruño:

Por este medio de la manera mas atenta, estamos presentando para su aprobación el Protocolo de nuestra tesis "Estimación de la carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla de Ometepe hacia el Lago Cocibolca", con el fin de cumplir con los procedimientos y normas de la Maestría de Ciencias Ambientales del CIEMA-UNI.

Asimismo, solicitamos la ratificación del MSc. Mauricio Lacayo Escobar como tutor de nuestro trabajo de tesis.

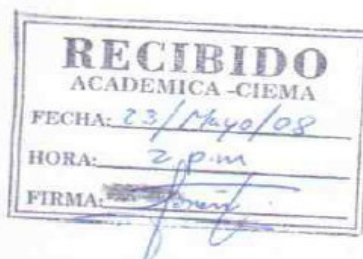
Sin más que agregar, nos despedimos deseándole éxitos en sus funciones.

Atentamente.

Ing. Gabriela Solórzano Morales

Lic. Rubén Urbina Juárez

Cc: MSc Sagrario Espinales / Secretaria Académica CIEMA-UNI





Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Managua, 23 de Mayo, 2008.

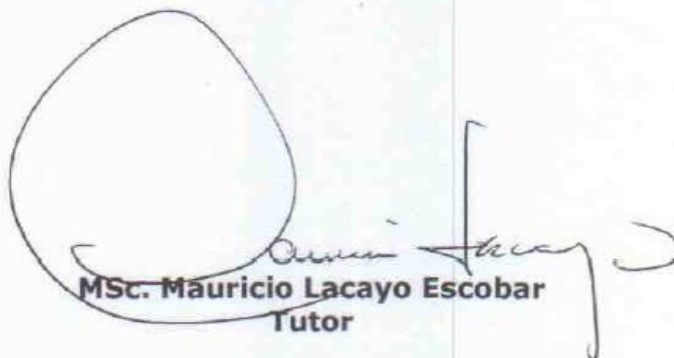
MSc. Lua Toruño
Coordinadora Maestría Ciencias Ambientales
CC. Msc. Sagrario Espinar
SECRETARIA ACADÉMICA
CIEMA UNI

Estimada Lua:

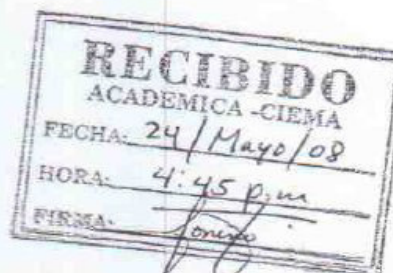
El objetivo de la presente es para comunicarle que he revisado la versión final del Protocolo de la tesis titulada: **"Estimación de carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo) provenientes de la cuenca de drenaje superficial de la Isla de Ometepe hacia el Lago Cocibolca"** la que será desarrollada por: Gabriela Solórzano Morales y Rubén Urbina Juárez.

Por lo anterior le solicito formalmente, iniciar los trámites estipulados por el CIEMA-UNI para tal fin.

Atentamente,


MSc. Mauricio Lacayo Escobar
Tutor

Cc. archivo





Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente
(CIEMA – UNI)



Managua, 20 de Junio de 2008

Ing. Gabriela Solórzano Morales

Egresada Maestría en Ciencias Ambientales

Lic. Rubén Urbina Juárez

Egresada Maestría en Ciencias Ambientales

Estimada Ing. Solórzano y Lic. Urbina:

Por medio de la presente tengo a bien informarles que en acta No 08-2008 del Consejo Académico del CIEMA del día miércoles 18 de junio del año en curso, se aprobó el protocolo de Investigación con el tema: "*Estimación de la carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla de Ometepe hacia el Lago Cocibolca*".

En base a la misma acta 08-2008 se acordó cumplir con las normativas del Reglamento de Culminación de Estudios de las Maestrías para la elaboración y defensa de tesis. Así mismo se confirmó como Tutor al MSc. Mauricio Lacayo E

Sin más que agregar y deseándoles éxitos en la realización del trabajo para optar al título de Maestría, me suscribo

Atentamente:

MSc Lúa Toruño Vallecillo
Coordinadora de Maestría en
Ciencias Ambientales
CIEMA - UNI

cc/ MSc Sergio Gámez G
MSc Sagrario Espinal M
Archivo

Director CIEMA
Secretaría Académica CIEMA



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Managua, 9 de Mayo del 2009

MSc. Lua Toruño
Coordinadora Maestría Ciencias Ambientales
CIEMA-UNI
Su despacho

Estimada MSc. Toruño:

Por este medio de la manera mas atenta, le informamos que hemos finalizado nuestro estudio de tesis "Estimación de la carga de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla de Ometepe hacia el Lago Cocibolca".

En cumplimiento al Reglamento de Culminación de Estudios de Maestría del CIEMA-UNI, le hacemos entrega de tres (3) ejemplares de nuestro documento de tesis. Asimismo, le solicitamos cordialmente el nombramiento del tribunal examinador.

Cabe señalar que nuestro tutor MSc. Mauricio Lacayo Escobar, ha avalado la finalización del trabajo de tesis para que éste sea sometido al tribunal examinador. Adjunto encontrará carta de tutor avalando finalización de nuestro estudio.

Sin más que agregar, reciba saludos afectuosos.

Atentamente,

Ing. Gabriela Solórzano Morales

Lic. Rubén Urbina Juárez

Cc: Msc. Sagrario Espinal Martínez/ Secretaria Académica CIEMA-UNI



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.



Managua, 9 de Mayo de 2009

MSc. Lua Toruño
Coordinadora Maestría en Ciencias Ambientales
CIEMA - UNI
Universidad Nacional de Ingeniería

Estimada Lic. Toruño:

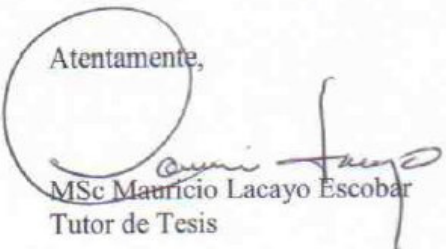
Sirva la presente para comunicarle que he revisado la versión final del documento de tesis "ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO TOTAL) PROVENIENTE DE LA CUENCA DE DRENAJE SUPERFICIAL DE LA ISLA DE OMETEPE HACIA EL LAGO COCIBOLCA", elaborado por los maestrantes Ing. Gabriela Solórzano Morales y el Lic. Rubén Urbina Juárez.

Asimismo, también hago de su conocimiento que ya se ha terminado el trabajo de tesis por parte de los maestrantes y que estoy avalando dicho documento y su finalización.

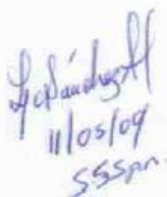
Por lo anterior le solicito de la manera más atenta, iniciar los trámites estipulados por el CIEMA - UNI para tal fin.

Agradeciendo su amable atención, me suscribo reiterándole mis saludos.

Atentamente,


MSc Mauricio Lacayo Escobar
Tutor de Tesis

Cc: Msc. Sagrario Espinal Martínez / Secretaria Académica CIEMA
Ing. Gabriela Solórzano Morales/ Maestrante
Lic. Rubén Urbina Juárez/ Maestrante


11/05/09
SSpm.



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente
CIEMA-UNI



Managua, 28 de Julio de 2009

Ing. Gabriela Solórzano Morales
Lic. Rubén Urbina Juárez
Sus Manos

Estimados Estudiantes

Por medio de la presente tengo a bien informarles que el Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA) ha programado su Defensa de Tesis titulada **"Estimación de la carga de nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) proveniente de la Cuenca de drenaje superficial de la Isla de Ometepe hacia el Lago Cocibolca"**, para optar al Título de Maestros en Ciencias Ambientales respectivamente que otorga la Universidad Nacional de Ingeniería.

El jurado está conformado de la siguiente manera:

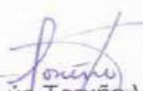
- | | |
|------------------------|------------|
| • MSc Rodolfo Jaén | Presidente |
| • MSc Ninoska Chow | Secretaria |
| • MSc Gustavo Valverde | Vocal |

También se les comunica la fecha, hora y sitio de la defensa de dicha tesis

Fecha de Defensa :	Jueves 13 de Agosto del 2009
Hora :	5:00 PM
Local :	Aula de Maestría del CIEMA – UNI

Agradeciéndole de antemano la atención a la presente y deseándole éxito. Me suscribo.

Atentamente


MSc. Lúa Toruño Vallecillo
Coordinadora de Maestría CCA
CIEMA - UNI



cc/ MSc. Sagrario Espinal
Archivo

Secretaría Académica



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
RESUMEN
ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	16
II.	ANTECEDENTES	18
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
IV.	OBJETIVOS	24
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	24
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
V.	MARCO TEÓRICO.....	25
VI.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
6.1.	MATERIALES Y MÉTODO	47
6.2.	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	49
6.3.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	49
6.4.	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	49
6.5.	PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA ISLA OMETEPE.....	50
6.6.	USO DE SUELO.....	51
6.7.	CARGAS ARTIFICIALES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO.....	54
6.8.	ESTIMACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DEL ECOSISTEMA.....	54
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
7.1.	ESTADO DE LA MICROCUENCA	55
7.2.	CARGA DE NUTRIENTES	58
7.3.	ESTADO TRÓFICO	63
VIII.	CONCLUSIONES	67
IX.	RECOMENDACIONES.....	69
X.	BIBLIOGRAFÍA	71



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EL LAGO Y LAS ISLAS	256
FIGURA 2. DESCRIPCIÓN DE LAGOS DE ACUERDO A SU GEOMORFOLOGÍA	26
FIGURA 3. CICLO DE LA MATERIA EN UN ECOSISTEMA	32
FIGURA 4. DIVISIÓN PORCENTUAL DEL USO DE SUELO	55
FIGURA 5. TIPO DE VEGETACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	56
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EN LA ISLA OMETEPE	56
FIGURA 7: CARGA PORCENTUAL DE NITRÓGENO (N) Y FÓSFORO (P) PROVENIENTE DE LA ISLA OMETEPE HACIA EL LAGO COCIBOLCA	60
FIGURA 8. PORCENTAJE DE FÓSFORO (P) Y NITRÓGENO (N) PROVENIENTE DE LAS FUENTES DIFUSAS EN LA MICROCUENCA ISLA OMETEPE.....	61
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LA CARGA DE NUTRIENTES TOTAL PROVENIENTE DE LA MICROCUENCA ISLA OMETEPE HACIA EL LAGO COCIBOLCA.	63



INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CUENCAS DEL RÍO SAN JUAN.....	28
CUADRO 2. USO DE SUELO EN LA ISLA OMETEPE	42
CUADRO 3. VALOR MEDIO DE CONCENTRACIONES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO	50
CUADRO 4. CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL DE LOS RÍOS EN LA MICROCUENCA ISLA OMETEPE.	51
CUADRO.5. ESQUEMA DE EXPORTACIÓN DE FÓSFORO Y NITRÓGENO, EN (MG.-2 A-1)	52
CUADRO 6. USO DE SUELO SEGÚN EL MÉTODO CÁLCULO DE LA CARGA DE NUTRIENTE.	53
CUADRO.7 VALORES MEDIOS DE LA CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA DEL NITRÓGENO	53
CUADRO.8. VALORES MEDIOS DE LAS DESCARGAS PER- CAPITA ANUALES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO ESTABLECIDOS EN EL MODELO DE EUTROFIZACIÓN.....	54
CUADRO 9. CARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PROVENIENTE DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ISLA DE LA ISLA OMETEPE	58
CUADRO 10. CARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PROVENIENTE DEL USO DE SUELO	59
CUADRO 11. CARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PROVENIENTE DE LAS FUENTES.....	60
CUADRO 12. CARGA TOTAL DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PROVENIENTE DE LA ISLA OMETEPE HACIA EL LAGO COCIBOLCA	62
CUADRO 13. ESTADO TRÓFICO DE LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO LOCALIZADOS EN LA MICROCUENCA ISLA OMETEPE (2005-2007).	64



DEDICATORIA

*La perseverancia es la madre de los logros,
Quien espera en los hombres,
Espera en vano el triunfo de sus luchas;*

*Prepararse cada día con coraje y convicción
Es lo que nos lleva a la próxima meta,
Seguros de alcanzar el sueño que nos hace libres,
Nuestra propia sabiduría, nuestro saber, nuestra confianza.*

*La verdad te hará libre (Juan 8:31-32)
El saber te hará libre.*

*Estudiar para aprender
Estudiar para honrar
Estudiar para vivir
Estudiar no es solo una palabra
Es una verdad que alimenta tus sentidos y te hace un ser pensante, innegable,*

*No es libre el que estudia más
Sino el que sabe estudiar para enseñar, vivir, honrar y soñar con un mejor futuro*

*Por ellos dedico mi logro de esta Tesis,
A todos cuanto me apoyaron y me empujaron para llegar al final,
Mis Padres:*

Gloria Morales Arévalo y Fernando García González

Familiares y Maestros

Y principalmente al ser más maravilloso que gobierna mi corazón y mi espíritu

DIOS.



DEDICATORIA

Al Dios Desconocido que no está en los altares ni en cruces deprimentes, ni necesita ser cargado por los hombres dedico este trabajo el cual sin su Amor y voluntad no habría finalizado. (Hechos. 17. 16-28)

A mi amada familia, cuyo amor ha sido vital en mi formación como persona y profesional.

Rubén Mariano Urbina Juárez



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todas aquellas personas e instituciones que de alguna u otra manera contribuyeron en la realización de este estudio de tesis:

Con especial reconocimiento a:

- **MSc. Erick Mauricio Lacayo**, tutor de nuestro estudio, quien nos guió a lo largo de estos dos años con sus comentarios y sugerencias para mejorar nuestro estudio y culminarlo de una forma eficiente.
- **Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (CIEMA)**, a través de su director MSc. Sergio Gámez, al darnos apoyo logístico en la realización de la fase de campo y elaboración de informe final del estudio como parte de la asistencia de cooperación con la Embajada de Holanda.
- **Flavia Valle** quien con su apoyo en la colaboración en la digitalización de los diversos mapas utilizados y áreas en la cuenca, hizo posible que se obtuvieran datos importantes para realizar las estimaciones.
- **Martha Ibarra**, quien nos facilitó la información referida a la precipitación de la cuenca para el cálculo de carga de nutrientes.
- **Bayardo Berríos**, por apoyarnos en el transporte durante la visita de campo y el muestreo de las aguas del Lago Cocibolca.
- **Las Unidades Ambientales de las Alcaldías de Altagracia y Moyogalpa, ENACAL-Rivas, MAGFOR-Rivas**
- A todas las personas que de una u otra forma nos ayudaron en la realización de este estudio.



RESUMEN

La Isla Ometepe ha sido sometida durante varios años a una serie de cambios que van desde actividades dirigidas al desarrollo turístico hasta actividades agropecuarias, modificando el uso de suelo y permitiendo mayores aportes de nutrientes en el Lago Cocibolca, lo cual conllevaría a la pérdida de la calidad de sus aguas.

Esta investigación, es un estudio que tuvo como principal tarea estimar la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo total) procedente de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca, así como determinar el estado trófico de este ecosistema acuático. Se caracteriza por ser descriptivo de corte transversal comprendido entre un espacio de duración que va desde 2006-2007. Para la estimación de la carga de nutrientes aportada por el drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el lago Cocibolca, se utilizó el método que tiene como nombre ***“Cálculo de la carga de nutrientes en lagos”*** desarrollado por **Vollenweider R.A (1981)**. Este método, establece la evaluación de las siguientes variables: Estado actual de la cuenca, Uso de suelo, Población, Precipitación y Geología. No obstante, para fortalecer el análisis y la discusión sobre los resultados del aporte de la carga de nutrientes, también se utilizó el modelo simplificado para la evaluación de eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales, de tal forma que según las concentraciones de fósforo, correspondía a uno o varios estados tróficos de los puntos evaluados en el Lago Cocibolca.

En base a los resultados del estudio se puede expresar que el área de la microcuenca Isla Ometepe es un área en desarrollo económico que depende de sus bosques y de la agricultura. La carga total estimada de nutrientes fue de 55.38 ton/año. El comportamiento del estado trófico de las aguas en el Lago Cocibolca según el gráfico de distribución probabilística de Vollenweider & Kerekes (1981), están relacionados principalmente con el uso de suelo, el cual representa la mayor fuente de aportación de nutrientes. Las condiciones topográficas del área de estudio, juegan un rol importante para el estado trófico de las aguas en esta zona, especialmente en aquellos lugares donde existen relieves accidentados o pendientes mayores al 30%. De acuerdo a los datos de este estudio, la aplicación del método y gráficas representadas, las aguas de esta zona del Lago Cocibolca se encuentran en un estado de mesotrófico-eutrófico.



ABSTRACT

Ometepe Island has been subjected for several years a number of changes ranging from tourism development activities directed to agricultural activities changing land use and permitting greater inputs of nutrients in Lake Nicaragua, which would imply the loss of its water quality.

This research is a study that had as its main task to estimate the nutrient load (nitrogen and phosphorus) from Ometepe Island to the Lake Nicaragua and to determine the trophic status of the aquatic ecosystem. It is characterized as descriptive, cross between a space of duration ranging from 2006-2007. To estimate the nutrient load contributed by the surface runoff from Ometepe Island to Lake Cocibolca method was used that has as name "Calculation of nutrient loading in lakes" developed by Vollenweider RA (1981). This method provides the evaluation of the following variables: current state of the watershed, land use, population, precipitation and geology. However, to strengthen the analysis and discussion on the results of the contribution of nutrient loading also using the simplified model for the assessment of eutrophication in Lakes Tropical Warm, so that as phosphorus concentrations corresponded to one or more trophic states of the points evaluated in the Lake Nicaragua.

Based on the study results can be expressed as the area of micro Ometepe Island is an area where economic development is dependent on their forests and agriculture. The estimated total nutrient load was 55.38 tons / year. The behavior of the trophic status of waters in Lake Nicaragua as the probability distribution graph Vollenweider & Kerekes (1981), are mainly related to land use, which represents the major source of nutrient intakes. The topography of the study area, play an important role in the trophic status of waters in this area, especially in places where there Difficult topography or slopes greater than 30%. According to data of this study, the method and graphical representation, the waters of this area of Lake Nicaragua are in a state of mesotrophic-eutrophic.



I. INTRODUCCION

El Lago Cocibolca o Lago de Nicaragua, es un recurso que constituye la principal fuente hídrica de nuestro país. Sus aguas son aprovechadas para la irrigación de zonas agrícolas correspondiente a la cuenca, consumo de agua en las ciudades del pacífico nicaragüense. Es aprovechado también para pesca artesanal y es un recurso que cuenta con grandes atractivos turísticos como la Isla Ometepe.

A pesar del valor del Cocibolca para Nicaragua, la cuenca se encuentra afectada por múltiples factores antropogénicas, como deforestación, cambio de uso de suelos, erosión de los suelos y contaminación de los mismos por el uso de agroquímicos y liberación de las aguas residuales sin previo tratamiento hacia el Lago.

En este sentido, La Isla Ometepe que forma parte de los pequeños refugios ecológicos del Cocibolca, no es ajena a estos factores, pues la microcuenca presenta una variedad de problemas ambientales que perjudican de forma directa e indirecta la cuenca del Cocibolca.

La Isla Ometepe con un área de 274.21km², es uno de los atractivos de mayor valor escénico y económico de Nicaragua, fue declarada reserva natural y patrimonio cultural a través de la **Ley No 203 “Ley que Declara Reserva Natural y Patrimonio Cultural de la Nación a la Isla de La Isla Ometepe”** la cual fue aprobada el 23 de Agosto de 1995 y publicada en La Gaceta No. 182 del 29 de Septiembre de 1995.

A grandes rasgos, se considera que los factores antropogénicos que en la Isla Ometepe se desarrollan, contribuyen al enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales provocando de tal manera un fenómeno llamado eutrofización.

Este proceso que nace de los depósitos de aguas residuales domésticas e industriales sobre las aguas superficiales, aguas sobrantes de riego en la agricultura enriquecidas con abono (Fósforo y Nitrógeno), aguas de escorrentías de talas, incendios o del uso de herbicidas y movimientos de suelos que proporcionan nutrientes hacia las aguas; tiene como función principal la disminución



del oxígeno disponible en el ecosistema acuático hasta su colapso, provocando la pérdida de la calidad en sus aguas, variación en la estructura de la comunidad acuática, el incremento de la frecuencia de microorganismos patógenos, baja calidad de la pesca y reducción del turismo.

(Lacayo, 2005)

De acuerdo a Jorgensen y Vollenwieder (1989), el proceso de eutrofización puede ser valorado a través de modelos, tomando en cuenta que la base de todo modelo de eutrofización es la determinación del balance de nutriente, el que puede realizarse midiendo las concentraciones y las velocidades del flujo de entrada y salida de las fuentes principales de descarga.

Basado en lo anterior, la presente investigación pretende evaluar la carga de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo Total) utilizando como herramienta principal el modelo que lleva por nombre *Mecanismo de Estimación de la Carga de Nutrientes en lagos* creado por J&V¹ 1989). Dicha metodología permitirá evaluar la susceptibilidad del cuerpo de agua y su interacción con la carga contaminante que proviene de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Actualmente no existen investigaciones de la cantidad de nutrientes Nitrógeno (N) y Fósforo (P) Total que aporta la microcuenca Isla Ometepe hacia el Lago, es por eso que esta investigación, mediante los resultados obtenidos, dará un importante aporte a los subsiguientes estudios y proporcionará estrategias para controlar, reducir o minimizar la carga generada por las fuentes artificiales y difusas provenientes de la microcuenca.

¹ Jorgensen y Vollenwieder 1989



II. ANTECEDENTES

2.1. Antecedente del uso de modelos para la determinación de carga de nutrientes

A nivel sudamericano, la Universidad Austral de Chile (1993) realizó un estudio llamado “Determinación de la capacidad de carga en el lago Rupanco” que se ubica en la provincia de Osorno, Chile con el propósito de estimar los aportes de fósforo y nitrógeno totales al Lago Rupanco provenientes de las actividades silvo-agropecuarias, pesqueras y de centros urbanos aledaños; así como también los nutrientes provenientes del aporte de arrastre de sedimentos de los ríos y aporte de lluvias.

En México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2006), realizó el estudio “Aporte de Nutrientes por Fuentes No Puntuales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo”, México, con el fin de estimar el aporte de nutrientes por fuentes difusas y puntuales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, mediante el uso del modelo de funciones de carga *Generalized Watershed Loading Functions* (GWLF) y su interface con el sistema de información geográfico ArcView.

A nivel nacional, Cortés (2005) estimó la Carga de Nutrientes (Fósforo y Nitrógeno total) en la cuenca de drenaje superficial del Lago de Apoyo, Nicaragua, a través del método “Cálculo de la carga de nutrientes en lagos” y formuló un “Plan de Acción para la prevención y control de la eutrofización en la cuenca del drenaje superficial Lago de Apoyo”.

Así mismo, el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA-UNAN (2007) estimó la carga de Macronutrientes (fósforo y nitrógeno) de los principales tributarios del departamento de Chontales que drenan al Lago Cocibolca.

A nivel nacional, en relación a trabajos previos sobre carga de nutrientes de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca no se encontraron estudios.



2.2. Marco legal existente en Nicaragua

En Nicaragua no existe un marco legal con respecto al uso de modelos, sin embargo, puesto que los modelos son utilizados para evaluar la cantidad de carga que un cuerpo de agua recibe de la población aledaña. El marco legal establecido para este estudio se encuentra referenciado hacia la conservación de los recursos potencialmente importantes para el desarrollo económico y cultural del país.

El marco legal relacionado a la protección y conservación de la belleza natural y calidad ambiental de la Isla Ometepe, conformada por los municipios Moyogalpa y Altagracia, es la **Ley No. 40 “Ley De Municipios”**, publicado en La Gaceta No. 155 de 17 de agosto de 1988.

En su artículo 28 mandata que el gobierno municipal debe velar por el buen uso de los recursos naturales, de mejoramiento de las condiciones higiénico-sanitarias de la comunidad y la protección del medio ambiente, con especial énfasis en las fuentes de agua potable, suelos y bosques, la eliminación de residuales líquidos y sólidos.

No obstante, considerando la importancia y valor natural de esta isla para la nación, el gobierno central declara La Isla Ometepe reserva natural y patrimonio natural, a través de la ley No. 203 **“Ley Que Declara Reserva Natural y Patrimonio Cultural De La Nación a La Isla Ometepe”**, publicada en La Gaceta No. 182 del 29 de Septiembre de 1995.

Esta declaración nació como una preocupación del hecho que la Isla Ometepe, en la actualidad está siendo sometida a procesos degradación de su medio ambiente y sus riquezas naturales, que descapitalizan su potencial económico.

Dentro de las disposiciones de la ley 203, se encuentran una serie de prohibiciones como el corte de árboles y procesamiento de madera con fines de lucro, las prácticas agrícolas que perjudican los suelos, las aguas y el medio ambiente, la expansión de actividades agropecuarias, turísticas, pesqueras, industriales o de servicios sin contar con la autorización correspondiente, derrame de líquidos o sólidos que ponga en peligro la estabilidad de los ecosistemas de la Isla, entre otros.



Como parte del aprovechamiento sostenible de las zonas del país que cuentan con una belleza natural con potencial turístico, tales como la Isla Ometepe, se creó la **Ley No. 306 “Ley De Incentivos Para La Industria Turística De La República De Nicaragua”**, publicada en La Gaceta No. 117 del 21 de Junio de 1999.

Esta ley tiene por objeto otorgar incentivos y beneficios a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras que se dediquen a la actividad turística en cuyos proyectos u obras se garantice la variable ambiental, de tal forma que se evalúen los posibles impactos ambientales y se establezcan las respectivas medidas de mitigación. Esto se hace en coordinación entre el Instituto Nicaragüense de Turismo y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

Asimismo, en la regulación y control de actividades, obras o proyectos que se realizan en áreas protegidas, el **Decreto No. 01-2007 “Reglamento De Áreas Protegidas De Nicaragua”**, publicado en La Gaceta No. 08 del 11 de Enero del 2007. Establece que toda obra, actividad o proyecto a ejecutarse en una área protegida que por sus características pueda producir deterioro al ambiente y los recursos naturales, introducir modificaciones al paisaje o afectar directa e indirectamente la calidad ambiental, diversidad biológica y el patrimonio cultural, deberá cumplir con los procedimientos, criterios y trámites de las diferentes resoluciones, normas o leyes que regulen esta materia, tales como estudio de impacto ambiental, planes de manejo, normas técnicas ambientales, entre otras.

De la misma manera, existen normas específicas que tienen como fin el control de la contaminación, tanto por residuos líquidos como por residuos sólidos.

El **Decreto No. 33-95 “Disposiciones para el Control Contaminación Provenientes Descargas de Aguas Residuales Domesticas, Industriales y Agropecuarias”** y la **NTON 05 027 - 05 “Norma Técnica Ambiental para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reuso”**.



Los que, tienen por objeto fijar los valores máximos permisibles o rangos de los vertidos líquidos generados por las actividades domésticas, industriales y Agropecuarias que descargan a las redes de alcantarillado sanitario y cuerpos receptores, así como el establecimiento de las disposiciones y regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación y mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados por los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; incluyendo el reuso de las aguas tratadas.

Por su parte, la NTON-05-014-02 “**Norma Técnica Ambiental para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de los Desechos Sólidos No-Peligrosos**” y la NTON-05-015-02 “**Norma Técnica Ambiental para el Manejo y Eliminación de Residuos Sólidos Peligrosos**”.

Establecen los criterios técnicos y ambientales que deben cumplirse, en la ejecución de proyectos y actividades de manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos y peligrosos, a fin de proteger el medio ambiente o ecosistemas frágiles como la isla Ometepe.



III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Justificación del estudio

La posición geográfica de la Isla La Isla Ometepe propicia el crecimiento industrial, turístico y agrícola, actividades que por sus características tiende a ejercer una fuerte incidencia en la producción de residuos líquidos y sólidos, los que a largo plazo provocaran la pérdida de la calidad de las aguas en el Lago Cocibolca.

Los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) que por el proceso de escurrimiento llegan hasta el lago Cocibolca representan un problema, debido a que podrían estar afectando las comunidades bióticas del lago y por ende su calidad.

Actualmente no se hallan investigaciones acerca de la cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que aporta la microcuenca Isla Ometepe hacia el lago Cocibolca. Sin embargo, el arrastre de nutrientes provenientes de actividades antropogénicas con prácticas de quema y uso de agroquímicos, falta de establecimiento de sistemas para el tratamiento de las aguas residuales, carencia de tratamiento de los residuos sólidos, aumento erosivo a causa de la deforestación y el aporte de los dos grandes volcanes, se asumen como las actividades que podrían estar deteriorando la calidad del agua en el sistema hídrico.

Ante esta problemática, existe una preocupación a nivel nacional, debido a que el lago representa una futura fuente de abastecimiento de agua para consumo humano de los municipios que se encuentran dentro de su cuenca.

La determinación del nivel de eutrofización basado en el método de **“Cálculo de la carga de nutrientes en lagos”**, junto con el involucramiento de las autoridades locales y la sociedad civil, permitirá evaluar la carga de nitrógeno y fósforo total procedente de la Isla Ometepe, a fin de establecer medidas para la prevención de la contaminación del lago Cocibolca.



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

La presente investigación es importante ya que proporcionará información para definir estrategias para controlar, reducir o minimizar la carga de nutrientes generada por las actividades antropogénicas in situ, y que a la misma vez servirá de base a futuros estudio para mejorar la calidad de agua del lago Cocibolca en función de utilizarse para el consumo de la población.

Se espera que los resultados obtenidos del estudio y la aplicación del modelo de carga de nutrientes, sean tomados en cuenta como parte de muchas otras investigaciones de manera que a través de estas se logre determinar la mejor estrategia para la conservación de la calidad del agua en el Lago Cocibolca y de esta forma dar el uso adecuado de sus aguas en pro de las poblaciones aledañas a la microcuenca.



IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Estimar la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo total) procedente de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca, así como la determinación del estado trófico del ecosistema acuático.

4.2. Objetivos específicos

- Definir el estado actual de la microcuenca Isla Ometepe por medio de la aplicación del modelo de eutrofización.
- Estimar el aporte de carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) que genera la Isla Ometepe al Lago Cocibolca evaluando las variables de población, uso de suelo, geología, precipitación y fuentes difusas que determina el modelo ***Cálculo de la carga de nutrientes en lagos tropicales***
- Caracterizar la condición trófica del Lago Cocibolca mediante la aplicación de la metodología simplificada para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales.
- Recomendar medidas para la prevención y reducción del aporte de la carga de nutrientes proveniente de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Origen de los lagos

El lago con sus límites bien marcados, es uno de los ecosistemas mejor definidos de la tierra. Es así como puede compararse a una isla en que el sistema natural dentro de su costa es relativamente independiente de los sistemas exteriores circundantes.

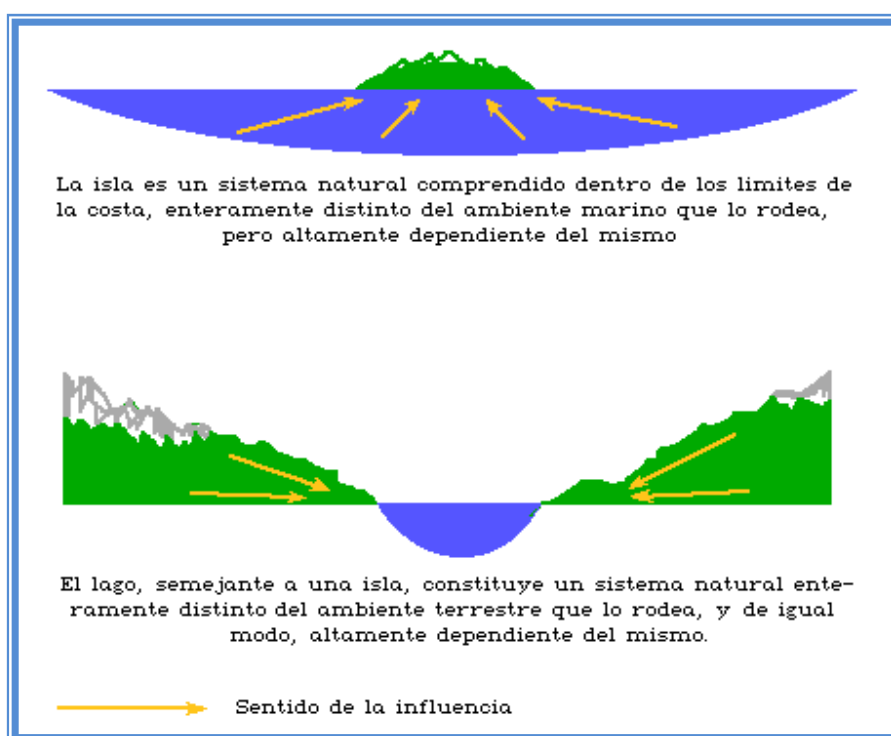


Figura 1. El Lago y Las Islas²

² Figura tomada del documento, "Origen de los Lagos" (Lacayo, 2005.)

Si los lagos son suficientemente antiguos geológicamente, tienden a hospedar una biota altamente calificada. En términos de flujo bio/geo/hidrológico de materia orgánica e inorgánica, los lagos son enteramente dependientes de su entorno y sistemas circundantes.

El agua entra al lago desde sus áreas de atrapamiento, drenada por sus cauces que conforman la cuenca lacustre. Sin el flujo de agua y su asociado abastecimiento de materia orgánica y energía, los ecosistemas lacustres no podrían sobrevivir. Esa delicada armonía, hace a los cuerpos hídricos, sanos y vivos.

Es importante decir entonces que, los atributos o cualidades ecológicas y fisiológicas de un lago dependen en gran medida del medioambiente natural, la población humana y su actividad en el área de atrapamiento.

La **figura 2** a continuación, muestra las diferentes formaciones de los lagos de acuerdo a su geomorfología.

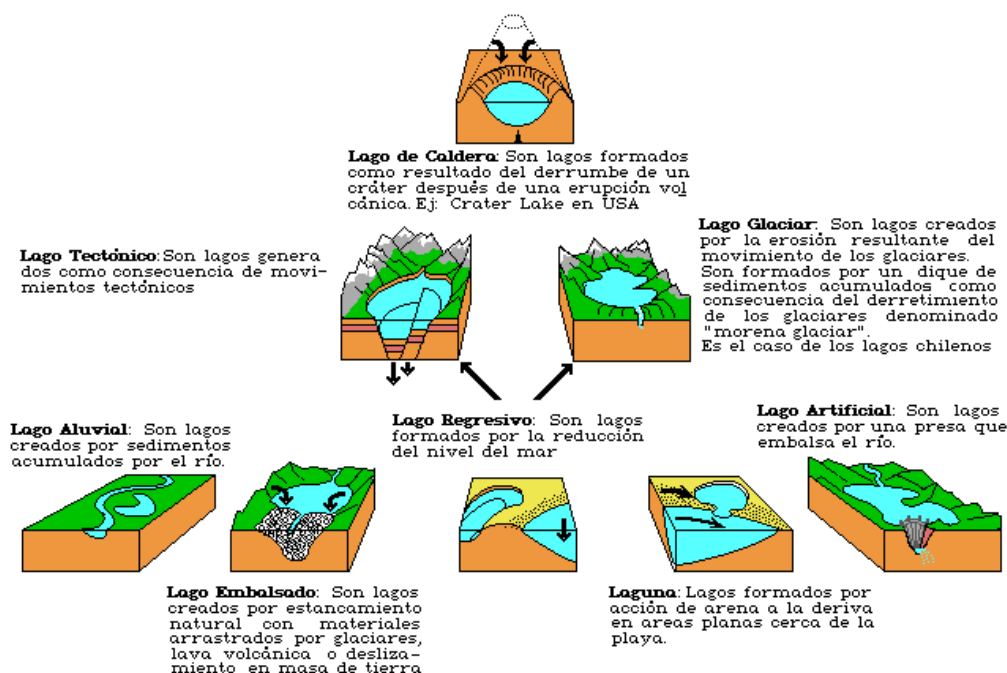


Figura 2. Descripción de Lagos de acuerdo a su geomorfología³

³ Figura tomada del documento, "Origen de los Lagos", Lacayo(2005)



5.2. El Cocibolca

El Lago Cocibolca es el más grande de Centroamérica y uno de los más grandes del mundo, con una superficie de 8.200 km². La longitud de su eje mayor tiene 160 kilómetros, mientras que su eje menor mide aproximadamente 70 km. Sus aguas tienen una profundidad promedio de 13 metros y una profundidad máxima de 40 metros.

Su nombre procede del náhuatl coalt-pol-can lugar de la gran serpiente, símbolo del indio Quetzalcoatl. El lago contiene más de cuatrocientas isletas, las cuales pertenecen al departamento de Granada, así como islas de mayor tamaño, como la Isla de Zapatera y la Isla Ometepe.

El Lago Cocibolca forma parte de la cuenca del Río San Juan, la cual se divide en 26 subcuencas, siendo 18 las principales en lo que respecta a su tamaño. Dentro de la cuenca del Río San Juan se encuentran ríos menores, que tienen un curso intermitente, así como ríos de mayor caudal que tienen un drenaje permanente durante todo el año.

A continuación se presenta las diferentes subcuencas que forma la Cuenca del Río San Juan, incluyendo la subcuenca del Lago Cocibolca y la subcuenca de la Isla Ometepe.



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Cuadro 1. Cuenclas del Río San Juan.

Subcuenca	Área de drenaje	Área km ²
Lago Cocibolca.		7,854.29
Tipitapa - Malacatoya.	Boaco, Managua, Granada.	2,146.39
Entre Cárdenas y Guacalito.	Costa Rica, Rivas, Río San Juan.	1,998.59
Tepenaguasapa.	Río San Juan.	1,337.66
Mayales.	Chontales.	1,332.99
Acoyapa.	Chontales.	1,108.70
Oyate.	Chontales, Río San Juan.	1,008.79
El Zapote.	Costa Rica, Río San Juan.	819.12
Tecolostote - Malacatoya.	Boaco, Chontales.	640.53
Gil González	Rivas, Granada.	345.53
Sapoá	Rivas.	328.09
Ochomogo	Carazo, Granada, Rivas.	318.02
Isla de La Isla Ometepe.	Rivas.	276.83
El Pital.	Granada.	240.60
Volcán Mombacho.	Granada.	239.26
El Consuelo	Río San Juan.	178.50
Granada.	Granada.	123.01
El Congo.	Río San Juan.	108.47
El Jabillo.	Río San Juan.	75.95
Isla Zapatera.	Granada.	53.61

Fuente: www.cocibolca.cira-unan.edu.ni

Las aguas del lago Cocibolca son utilizadas de muchas maneras por la población perteneciente a esta cuenca y más allá de ella. Así, se conoce que en el sector Este del lago, sus aguas son utilizadas como abrevadero para el ganado vacuno y al mismo tiempo son utilizadas para riego del pasto que alimenta al ganado.

Al Oeste del lago, sus aguas son aprovechadas para irrigación de cultivos como arroz, caña de azúcar, plátanos, árboles frutales, entre otros. Un uso importante del lago Cocibolca, es el agua para consumo humano. Cabe señalar que por la excelente calidad de sus aguas, algunos de los pobladores la consumen directamente.

Aunque la industria perteneciente a la cuenca del Lago, es poca, sobresale la existencia de una granja piscícola ubicada al sur de La Isla Ometepe. Por otro lado, el Cocibolca es clave para el



desarrollo de la industria turística nacional, debido a que sus aguas son utilizadas para navegación, pesca deportiva, natación, paisaje natural, entre otros.

El Cocibolca dentro de su dinámica como lago tropical, presenta temperatura alta constante entre 29.3 y 25.4, la transparencia de sus aguas es muy baja (Secchi 0,6-0,8m). Es un lago de tipo polimíctico (en mezcla constante), debido a su poca profundidad, temperaturas altas constantes y la exposición a los vientos. (CIRA, 2008).

Los Nutrientes inorgánicos como orto-fosfato y nitratos se encuentran en concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos Oxidación del persulfato (espectrofotómetro) y Marco-Kjeldahl del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1998. Esto esta relacionado a la asimilación constante de nutrientes por parte de la biomasa presente en el agua.

Cabe mencionar, que la variación de concentraciones de nutrientes es dependiente de la estacionalidad o sea es controlado por su entrada por medio del escurrimiento, caudal de tributarios, así como por los cambios del volumen de agua en el lago. (CIRA, 2008).

5.1.1 Utilización e Importancia de los Lagos y sus Cuencas

El ser humano utiliza los lagos, reservorios y sus cuencas de drenaje de agua para:

1. Producción de agua potable
2. Generación de Energía
3. Recreación
4. Pesca
5. Transporte
6. Acuicultura
7. Descarga de efluentes



El valor de los lagos como importante reserva, proveen vía de transporte, oportunidad para la recreación, recursos de lavado, agricultura y producción de energía, sin embargo, también son utilizados como deposito para arrojar desperdicios.

5.1.2 Estado Ecológico de los Lagos

Los ciclos biogeoquímico que ocurren en los lagos, están determinados en parte por la carga externa del ecosistema lacustre desde la cuenca de drenaje, dado a que los lagos son sistemas abiertos con entradas y salidas. Es por ello que se dice que ***"Un lago sólo puede ser ecológicamente estable, mientras su área de atrapamiento de aguas se mantenga en buenas condiciones ecológicas"*** y esto tiene razón con su trofia.

Según, Lacayo (2005), en términos limnológicos la trofia de un lago se refiere a la velocidad con que la materia orgánica es provista al o por el lago en la unidad de tiempo. Se trata de una expresión que describe los efectos combinados de la materia orgánica provista al lago a partir de la producción autóctona y de fuentes alóctono.

El concepto de "trofia de un lago" está relacionado con el metabolismo integral del ecosistema hídrico, determinado por el suministro orgánico otorgado por dos fuentes: la carga nutriente de la esorrentía de las cuencas dependientes, sumada a la productividad propia del reservorio receptor.

La carga externa de nutrientes y materia orgánica es decisiva para la productividad de un lago, dentro de los límites que le imponen las condiciones climáticas, el tiempo de residencia, la tasa de renovación, etc., para distintas áreas en diferentes latitudes. Un incremento de producción vegetal implica una disminución de oxígeno en su masa de agua más profunda (el hipolimnio), lo que a su vez genera una liberación de nutrientes a partir de los sedimentos.



Esta provisión de nutrientes al ecosistema lacustre, constituye lo que se denomina: la carga interna. Vollenweider (1989), fue el primero en formular criterios cuantitativos de carga para el fósforo y nitrógeno y las condiciones tróficas esperadas en los cuerpos de agua (concepto de la carga de nutrientes).

El fósforo como uno de los principales nutrientes, resulta ser habitualmente el factor limitante inicial para el crecimiento de las plantas. Las aproximaciones y los modelos de carga cuantitativos se refieren en su mayoría, a éste elemento.

En principio, el equilibrio ecológico de un lago depende enteramente de estas fuentes de problemas y puede determinarse por el análisis de variables internas como el fitoplancton, los nutrientes y las concentraciones en los peces.

5.1.3 La materia en un ecosistema acuático

En todo ecosistema, los organismos autótrofos más comunes son las "plantas verdes" en ambientes terrestres y algas verdes en los ambientes acuáticos.

El proceso de los cloroplastos o pigmentos clorofílicos en contacto con una determinada longitud de onda de la luz solar, hace que estos organismos cumplan con la reacción química de la fotosíntesis, capaz de transformar el agua y el anhídrido carbónico en glucosa. De dicho compuesto orgánico, y a través de complicadas reacciones químicas, se producen las células, sintetizando todos los compuestos que caracterizan a los seres vivos.

En los ambientes terrestres, estos organismos que cubren la tierra con un manto verde viviente, alcanzan gran tamaño en forma de árboles, mientras que en los ambientes acuáticos, conforman en mayor cantidad, masas de organismos principalmente unicelulares y microscópicos, llamados algas.

La vida está fundada en organismos que por su capacidad de producir materia orgánica, son llamados Productores o Autótrofos. En los cuerpos de agua, los Productores de materia orgánica son las algas verdes (fitoplancton) y plantas superiores (macrófitos), que a través del proceso de la fotosíntesis, producen la biomasa, a partir de sustancias inorgánicas simples que toman del agua y del suelo, respectivamente.

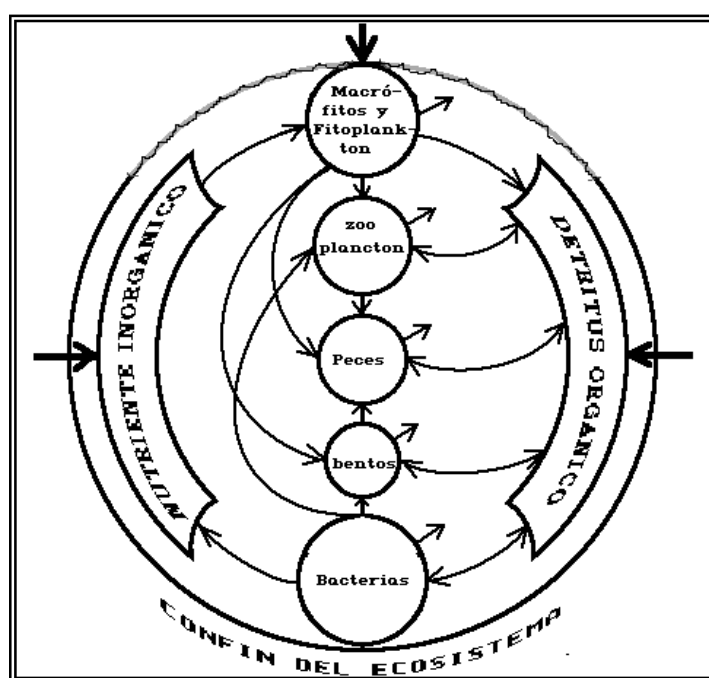


Figura 3. Ciclo de la materia en un ecosistema⁴

5.3. Los Nutrientes Nitrógeno (N) y Fósforo (P) total en el Medio Ambiente

Desde el punto de vista limnológico, los nutrientes forman parte de la composición biológica en los cuerpos de aguas y son en su estado natural, compuestos fundamentales en la determinación de calidad de las aguas y funcionamiento estable de los ecosistemas acuáticos.

⁴ Figura tomada del documento, "Origen de los Lagos", Lacayo(2005)



Desde el punto de vista biogeoquímico, un elemento químico o molécula necesario para la vida de un organismo, se llama nutriente o nutrimento. Los organismos vivos necesitan de 30 a 40 elementos químicos, donde el número y tipos de estos elementos varía en cada especie.

La mayor parte de las sustancias químicas de la tierra no están en formas útiles para los organismos; pero los elementos y sus compuestos necesarios como nutrientes, son ciclados continuamente en formas complejas, a través de las partes vivas y no vivas de la biósfera, y convertidas en formas útiles por una combinación de procesos biológicos, geológicos y químicos **(Anexo I)**

5.3.1 El Fósforo (P)

En la mayoría de las aguas continentales, el fósforo es el principal factor limitante de su productividad. Todas las formas de fósforo presentes en las aguas naturales adquieren la forma iónica, de manera que en su proceso de cambio se puede encontrar transformado a fosfato.

5.3.1.1 Una de las clasificaciones más aceptadas del fósforo en forma de fosfato son:

- Fosfato Particulado (P-particulado)
- Fosfato Orgánico Disuelto
- Ortofosfato
- Fosfato total Disuelto
- Fosfato total.

Si bien todas las formas de fosfatos son importantes, sin embargo desde el punto de vista limnológico el ortofosfato adquirir una mayor relevancia por ser la principal forma de fosfato asimilada por los organismos acuáticos.

Bajo esta consideración, se puede decir, que en lagos tropicales y debido a sus cambios de temperaturas, el metabolismo de los organismos aumenta considerablemente, haciendo que el ortofosfato sea más rápidamente asimilado e incorporado en su biomasa y este proceso, permite que los lagos tropicales tengan bajas concentraciones de ortofosfato. (Esteves, 1998).



5.3.2 Fuentes del fosfato

El fosfato presente en los ecosistemas acuáticos continentales, tiene origen natural y artificial. Dentro de las fuentes naturales, las rocas de la cuenca de drenaje constituye la fuente básica de fosfato para los ecosistemas acuáticos continentales. La cantidad de fosfato de origen natural en los ecosistemas acuáticos depende directamente del contenido de fosfato presente en los minerales primarios de las rocas presentes en las cuencas de drenaje.

La liberación del fósforo, a partir de la forma cristalina de los minerales primarios en roca, ocurre a través de la desagregación de éstas por el intemperismo. El fosfato liberado de la roca es transportado por el escurrimiento superficial, pudiendo alcanzar los cuerpos receptores en sus dos formas principales: soluble y el absorbido por la arcilla.

Esta última, es sin duda, la vía más importante de acceso del fosfato a los ecosistemas acuáticos tropicales; debido a la frecuencia de suelos arcillosos. Otros factores naturales que permiten el aporte de fosfato, suelen ser el material particulado presente en la atmósfera, así como el fosfato resultante de la descomposición de los organismos de origen alóctono, mejor enfocado en su ciclo natural (**Anexo II**) (Esteves, 1998).

En resumen, se pueden identificar tres fuentes principales de fosfato:

- Desechos domésticos e industriales.
- Fertilizantes agrícolas.
- Material particulado de origen industrial contenido en la atmósfera.
- Fuentes naturales

5.3.3 Ciclo del Fósforo

El ciclo del fósforo, es un ciclo biogeoquímico (**Anexo II**) que describe el movimiento de la circulación del elemento en los ecosistemas.



En el ciclo del Fósforo, la proporción de fósforo en la materia viva es relativamente pequeña. Componente de los ácidos nucleídos como el ADN, muchas sustancias intermedias en la fotosíntesis y en la respiración celular, se encuentran combinadas con el fósforo y los átomos de fósforo; que proporcionan la base para la formación de los enlaces de alto contenido de energía.

A diferencia de los demás ciclos, (carbono, nitrógeno y azufre), el ciclo del fósforo difiere principalmente respecto a que el fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme. Una vez en el mar, solo existen dos mecanismos para el reciclaje desde el océano hacia los ecosistemas terrestres.

Uno es mediante las aves marinas, que recogen el fósforo que pasa a través de las cadenas alimentarias marinas y que pueden devolverlo a la tierra firme en sus excrementos. Además de la actividad de estos animales, hay la posibilidad del levantamiento geológico de los sedimentos del océano hacia tierra firme, un proceso medido en miles de años.

5.4. El Nitrógeno (N)

El nitrógeno por su parte, es uno de los dos elementos más importantes en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos. Esta importancia se debe principalmente a su participación en la formación de proteínas, uno de los componentes básicos de la biomasa. Cuando el nitrógeno se presenta en bajas concentraciones, puede actuar como factor limitante en la producción primaria de los ecosistemas acuáticos. (Esteves, 1998)

El nitrógeno está presente en los ecosistemas acuáticos en diferentes formas: tales como Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Amoníaco (NH_3), Amonio (NH_4^+), Oxido nitroso (N_2O), Nitrógeno molecular (N_2), Nitrógeno orgánico disuelto (péptidos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.) y Nitrógeno orgánico particulado (bacterias, fitoplancton, zooplancton y detritos). (Esteves, 1998)

Las principales fuentes del nitrógeno son la precipitación, material orgánico e inorgánico de origen alóctono (sedimentos) y fijación del nitrógeno molecular dentro del propio lago. (Esteves, 1998)



En cuanto a la distribución de nitrato en la columna de agua a la fecha no hay evidencias de un patrón definido. De modo general se observa que durante el período de estratificación térmica de la masa de agua, las concentraciones de nitrato son más bajas que durante el período de circulación, tanto en el hipolimnion como en el epilimneo, debido a que esta capa queda aislada de las otras capas de la columna de agua y el nitrato es asimilado por el fitoplancton. En el hipolimnion con bajas concentraciones de oxígeno, ocurre la amonificación del nitrato. (Esteves, 1998).

La distribución de nitrato en la columna de agua en lagos tropicales, es fuertemente influenciada por la actividad de las bacterias nitrificantes y desnitrificantes, que actúan simultáneamente en la columna de agua evidenciando, que la distribución de nitrato está ligado directamente al grado de oxigenación de la columna de agua.

5.4.1 Ciclo del Nitrógeno

La reserva principal de nitrógeno es la atmósfera (el nitrógeno representa el 78 % de los gases atmosféricos). La mayoría de los seres vivos no pueden utilizar el nitrógeno elemental de la atmósfera para elaborar aminoácidos, ni otros compuestos nitrogenados, de modo que este proceso depende del nitrógeno que existe en las sales minerales del suelo.

La escasez de nitrógeno en el suelo, muchas veces representa el factor que limita el crecimiento vegetal en un ecosistema, por eso es importante la circulación del nitrógeno de manera constante. Bajo este contexto, el proceso por el cual esta cantidad limitada de nitrógeno que circula sin cesar por el mundo de los organismos vivos se conoce como ciclo del nitrógeno. (**Anexo III**)



5.5. Eutrofización

La palabra eutrofización proviene del griego; (eu) que significa bueno y (trofos) que significa alimento. De esta forma, el significado literal de esta palabra es “rico en alimento” (Olivares, 2003).

En los cuerpos de aguas superficiales como los lagos, con el tiempo ocurre un enriquecimiento natural de sus aguas, debido a los sedimentos arrastrados desde las cuencas aportantes ya que contienen diferentes nutrientes solubles en aguas. A esto se le conoce como eutrofización natural.

Por otro lado, los cuerpos de aguas son receptores de descargas de aguas residuales domésticas e industriales no tratadas, las cuales también contienen entre otras sustancias, nutrientes que en abundancia en un cuerpo de agua, acelera el proceso de eutrofización en forma muy dramática al que se denomina eutrofización cultural. (Olivares, 2003).

En este sentido, en los lagos cuyos niveles de nutrientes son muy altos, es decir, aquellos que se caracterizan por abundante vegetación y por la presencia de algas en exceso, se denominan lagos eutróficos. Lagos con bajo nivel de nutrientes son llamados oligotróficos, mientras que lagos en un nivel intermedio de nutrientes se llaman mesotróficos.

La eutrofización es uno de los problemas más comunes de la calidad de aguas a nivel mundial. Los más importantes creados por la excesiva eutrofización se presentan a continuación:

- El efecto negativo sobre la industria de pesca comercial y deportiva, debido a los cambios en las especies de peces encontradas en lagos, causado por el bajo nivel de oxígeno encontrado en las aguas más profundas.
- El efecto en turismo y recreación debido al excesivo crecimiento de algas y otras plantas acuáticas. Las algas filamentosas son depositadas en las playas y riberas luego de tormentas produciendo cantidades de material en descomposición.



- Los crecimientos masivos de algas que provocan problemas de olor y sabor en el agua y obstruye los filtros de las plantas de tratamiento.

5.6. Problemas Ambientales

Actualmente y debido al uso de suelo en la microcuenca, La Isla Ometepe presenta problemas de carácter ambiental que incidirán en una variación prominente en el Lago Cocibolca.

Todos estos señalamientos evidencian la microcuenca como foco que contribuye a aporte de nutriente sobre las aguas del Lago Cocibolca, pues se ha considerado que puntos alrededor de la cuenca del Lago pueden contribuir al desarrollo de la disminución de la calidad de sus aguas, mismas que se pretende utilizar para el uso de los pobladores en los municipios aledaños.

La erosión de suelos es alarmante, provocando una caída de los rendimientos agrícolas, escasez de producción (menos alimentos e ingresos) y endeudamientos de productores.

La causa de la erosión, es el cultivo en pendientes sin obras de conservación de suelos, mono cultivo sin botar o asociar, técnicas no adecuadas (quemadas, surcos en pendientes, abono químico, maquinización), sobre pastoreo de fincas, además de vientos y lluvias fuertes que arrastran arenas del Volcán Concepción cubriendo áreas cultivables. Hay que mencionar la destrucción de playas por una extracción indiscriminada de arena para construcciones turísticas en los últimos años.



5.7. Características de la Microcuenca Isla Ometepe

5.7.1 Demografía

La Isla de La Isla Ometepe, tiene una extensión territorial de 274,21 Km², está ubicada en el gran Lago de Nicaragua y pertenece al Departamento de Rivas.

Se divide administrativamente en dos municipios, Altagracia con 19,995 habitantes y Moyogalpa con 9,729 habitantes, para un total de 29,724 habitantes en la isla (INIDE, 2008).

5.7.2 Descripción geológica

En cuanto a la geología de la Isla Ometepe, las principales características de las formaciones y rasgos de los procesos geológicos, están vinculados a los inicios de la Era Paleozoica (que va desde la época 200 y 500 millones de años A.C.) hasta culminar con la intensa actividad volcánica de la Era Cuaternaria o Neozoico (hace más de un millón de años) (INIFOM, 2008).

Durante el período Pleistoceno, (una de las etapas de la era Cuaternaria) tiene lugar la formación volcánica del Pacífico y las cordillera de los Marribios, dentro de las cuales se encuentran los volcanes Concepción; actualmente activo y Maderas inactivo (INIFOM, 2008).

El periodo Cuaternario, dio lugar a que la Isla Ometepe se caracteriza hoy en día por la presencia de depósitos piroclastos y lava, cuyo basamento lo forman materiales piroclastos del grupo Las Sierras.

Este material se localiza cubriendo prácticamente el Volcán Maderas, iniciándose en el oeste, a partir de la costa topográfica de los 100 Km, así como en los alrededores del cráter del Concepción, superando la costa de los 200 m extremo este. (INIFOM, 2008).



Finalizando la Era Cuaternaria, comienzan las formaciones de depósitos sedimentarios del Holoceno, los cuales se encuentran constituidos por depósitos pluviales y fluviales; estos se distribuyen por toda el área del Concepción, hasta donde se inician los depósitos Piroclásticos del Volcán Maderas (INIFOM, 2008)

5.7.3 Clima

La característica climatológica en la Isla Ometepe es de carácter tropical con una distribución anual de precipitación en las estaciones invernales (Mayo a Octubre), entre los 1,400 mm y 1,600 mm. La temperatura media anual oscila entre los 27° y 27.5°.

El periodo lluvioso de la Isla Ometepe tiene un comportamiento similar al de la Zona del Pacífico del país; es decir un periodo de distribución que va desde el mes de Mayo a Octubre, registrándose los máximos de precipitación en los meses de Junio, Septiembre y Octubre (INIFOM, 2008).

5.7.4 Hidrología

La Isla Ometepe está rodeada por el cuerpo de agua superficial más grande e importante de Nicaragua, el Lago Cocibolca. Este, representa el mayor potencial para el desarrollo económico de la zona, pero también es tomado como el más vulnerable debido a los problemas de contaminación por las actividades agropecuarias en la Isla Ometepe.

La Isla Ometepe en toda su extensión, comprende ojos de agua superficiales, los cuales mantienen una dinámica con condiciones de afluencia y descargue hacia el Lago Cocibolca. La mayoría de los ríos que existen en la Isla Ometepe, se encuentran en el municipio de Altagracia, siendo estos los ríos Balgue, Tichaná, Istiam y Buen Suceso.

Balgue y Tichaná son utilizados para el aprovechamiento como Agua Potable y para riego en la Agricultura, sus características morfológicas son iguales, tanto en profundidad (0.3m - 0.8m), sección de 2m - 4m, caudal de 0.13 m³/s aproximadamente, así como en su trayectoria lineal de



las cárcavas naturales que conforman las fallas geológicas profundas del Volcán Maderas. En la actualidad, las aguas de estos ríos son explotadas parcialmente para consumo humano.

Los ríos Istiam y Buen Suceso: el Istiam con una sección de 3-7m de trayectoria lineal y una profundidad de 0.50m - 1.0m aproximadamente, presenta fondo vadoso y flujo lento, sus aguas son de buena calidad para el riego, a diferencia del Buen Suceso, considerado como el río más grande de la Isla, tiene características totalmente diferentes de todos los demás ríos.

El río Buen Suceso tiene una profundidad de 0.50m - 1.5m con una sección de 3m - 10m de flujo lento, presenta alguna sinuosidad en su trayectoria y la calidad físico química del agua es mala.

Parte de la hidrología superficial de la Isla Ometepe, abarca las Lagunas Maderas y Charco Verde. La laguna Maderas está localizada en un antiguo Cráter del Volcán Maderas, esta laguna, almacena toda la precipitación caída en la zona durante todo el año.

Tiene una superficie de 4 ha y esta ha una elevación de 1,180 m.s.n.m. Por su parte, la laguna Charco Verde, es un cráter parásito extinto del volcán Concepción, se localiza al sur este del poblado de San José y no ofrece potenciales hídricos, ni buena calidad química; este descansa con lechos limo-arcilloso, y abundantes algas.

Otro componente representativo de la hidrología de La Isla Ometepe, son sus manantiales, quienes mantienen un comportamiento permanentes o intermitente y se encuentran condicionados por la infiltración directa de la pluviometría. Los manantiales, se localizan con mayor ocurrencia en el Volcán Maderas, en cotas menores de 400 m.s.n.m, entre ellos: Las Cuchillas, El Salto, Mérida, Hacienda Argentina, San Pedro, y Hacienda el Corozal.

En el Volcán Concepción los manantiales se localizan desde la Comunidad Las Pilas, hasta la Comunidad Pull en cotas menores de 100 m.s.n.m. Los manantiales Sarren, La Fuente, El Gallo, Las Pilas, Santo Domingo y Las Puertas, son usados para consumo doméstico durante todo el año.



5.7.5 Suelo

En la Isla se llevan a cabo diversas actividades que definen el uso de suelo, en los que se logran identificar, agricultura, pecuarias, pesca, bosque y conservación aprovechando el patrimonio cultural y la belleza natural de la Isla (INIFOM, 2008).

El último censo realizado por el Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua (MAGFOR, 2003), sobre el uso actual de suelo en la Isla Ometepe fue caracterizado según **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Uso de suelo en la Isla Ometepe

Uso actual Isla La Isla Ometepe	Ha	km ²	%
Agua	568.07	5680700	2.1
Área Humanizada ⁵	937.677	9376770	3.4
Bosque Latifoliado Abierto	4112.068	41120680	14.9
Bosque Latifoliado Cerrado	2270.484	22704840	8.2
Café con sombra	167.95	1679500	2.2
Centros poblados	46.227	462270	0.2
Cultivos anuales	2889.756	28897560	10.4
Malezas y pastos con arboles	1189.163	11891630	4.3
Musáceas	1726.484	17264840	6.2
Pasto manejado	1194.695	11946950	4.3
Suelo sin vegetación	630.059	6300590	2.3
Tacotal y pasto sin maleza	11880.825	118808250	42.9
Suelo sujeto a inundación	50.448	504480	0.2
Vegetación arbustiva	14.76	147600	0.1
Total	27678.666	276786660	100

⁵ Llamadas también áreas pobladas



En el cuadro 1 se puede observar que el uso de suelo con mayor porcentaje en la Isla Ometepe es tacotal y pasto con maleza con 42.9%, seguido de bosque latifoliado abierto, cultivos anuales bosque latifoliado cerrado y musáceas, con 14.9, 10.4, 8.2, y 6.2%, respectivamente.

Este uso de suelo, muestra que la Isla Ometepe, es un territorio dedicado a la agricultura, conservación del bosque (presente en los volcanes Concepción y Maderas, que son áreas protegidas) y es poco densa en población, debido a que solamente el 3.4% de su territorio está humanizado o poblado (**Anexo IV**)

5.7.6 Vegetación

En La Isla Ometepe, se pueden observar frecuentemente especie vegetales como Madero Negro, Guácimo de Ternero, Laurel, Guarumo, Poro Poro, Cornizugio, Tololo, Hule, Chilamate colorado, Cedro Real y Guanacaste. No obstante, en sus dos áreas más representativas como los volcanes Concepción y Maderas, se encuentran las siguientes zonas de vida (INIFOM, 2008).

Área del Volcán Concepción:

- Bosque Tropical Seco con transición a subtropical.
- Bosque Tropical Húmedo.
- Bosque Húmedo premontado tropical.
- Bosque Mut. Húmedo montado bajo tropical

Área del Volcán Maderas:

- Bosque Tropical premontano húmedo.
- Bosque premontano tropical húmedo. Transición tropical cálido.
- Bosque muy húmedo. Montano bajo tropical.
- Bosque seco tropical. Transición.



5.7.7 Fauna

Según INIFOM (2008), la Isla Ometepe presenta una diversidad faunística, de las cuales se han identificado aproximadamente 90 especies de aves, 13 de mamíferos, 22 de reptiles y anfibios. El mono Congo y el Cara Blanca son otro tipo de especies que pueden ser localizados en los bosques de ambos volcanes, Concepción y Madera. Especies como el Pavo Real, Venado Cola Blanca, Pizote y Guatuso, están en peligro de extinción por la caza deportiva. **(ANEXO V)**

5.8 Aspectos Socioeconómicos

5.8.1 Agua potable

La población urbana de la isla y aquellos poblados cercanos al casco urbano, se abastecen de agua proveniente de pozos de ENACAL. El sistema de distribución es obsoleto y deficiente generando severas afectaciones a la población que apenas alcanza 29.0% de la cobertura a Nivel Domiciliar en toda la Isla.

La población que no es abastecida por medio de ENACAL, llena sus necesidades por medio de mini acueductos, ubicados en el Volcán Maderas; y otra parte de la población cubre esta necesidad a través de puestos de agua, vertientes de agua y el lago (INIFOM, 2008).

5.8.2 Salud

El servicio de salud que se brinda a la población es limitado. La atención médica es a nivel primario, la cual consta de Centros de salud en los cascos urbanos y puestos de Salud en el sector rural. Esta situación conlleva a que la población busque una asistencia secundaria en la cabecera departamental de Rivas, la que se dificulta debido al mal estado de los sistemas de Transporte Acuático San Jorge-La Isla Ometepe o Granada-La Isla Ometepe (INIFOM, 2008).



5.8.3 Educación

La Isla Ometepe cuenta con una Delegación del Ministerio de Educación, ubicada en el Municipio de Altagracia. Los niveles de educación brindado a la población estudiantil de la isla comprende desde el Pre - Escolar, Primaria y Secundaria, existiendo centros escolares de secundaria, incompleta. En Altagracia, existe una relación de 24 alumnos por profesor, mientras que en Moyogalpa, la relación alumnos-maestro es de 31.

Es importante señalar que todos los centros de estudios son públicos y se encuentran mayormente en las zonas rurales de la isla (INIFOM, 2008).

5.8.4 Residuos sólidos

Los municipios de Altagracia y Moyogalpa cuentan con servicio de recolección de residuos sólidos. Sin embargo, la cobertura del servicio esta limitada a los cascos urbanos de los mismos y la frecuencia de recolección es de al menos dos veces por semana y los equipos de recolección, incluyendo los camiones, no son los adecuados, así como los sitios de disposición final, debido a que estos son botaderos a cielo abierto (INIFOM, 2008).

5.8.5 Producción agropecuaria

Dentro de las principales actividades económicas en La Isla Ometepe, está la agricultura; siendo los rubros más importantes: plátano, sandía, arroz, frijoles, ajonjolí, maíz y frutas; cuyos principales destinos de venta son Managua, Granada, Rivas y San Carlos. Otra actividad económica es la ganadería con práctica tradicional y semitecnificada, desarrollando la producción para el consumo de carnes y leche local (INIFOM, 2008). Según el CENSO Agropecuario del 2001, en la isla existen 5,840 cabezas de ganado vacuno, correspondiendo al municipio de Altagracia 2,850 y 2,998 a Moyogalpa.



5.8.6 Turismo

El turismo de La Isla Ometepe, constituye una alternativa para su desarrollo económico, debido a que la actividad es fuente generadora de empleos y divisas. La Isla Ometepe por poseer grandes bellezas con atractivos turísticos, atrae a gran cantidad de turistas extranjeros, lo que ofrece una nueva y mejor imagen del país a nivel de la región centroamericana y países fuera de la región (INIFOM, 2008).



VI. DISEÑO METODOLÓGICO

El área de estudio se localiza en el “Subsistema I; Lago Cocibolca” de la Cuenca del Río San Juan, la cual tiene una extensión de 23,848 km² y la muestra del mismo es el área de la microcuenca la Isla Ometepe, la que cuenta con una extensión de 274,21 km².

6.1. Materiales y método

Para el estudio, se tomaron en cuenta como variables independientes y dependiente, Nitrógeno total y fósforo total y calidad de agua, respectivamente. En la toma de muestras de agua, se seleccionaron 6 puntos de referencia en toda la isla, tomando en consideración su cercanía con las áreas impactadas por el accionar de las diferentes actividades realizadas alrededor de la microcuenca. Los datos utilizados en este estudio fueron gentilmente proporcionados por la Gerencia general de NICANOR a través del señor David Senna. (**Anexo VI**)

Cada punto fue georeferenciado con la ayuda de un GPS y posteriormente ubicados en un mapa topográfico digital, a través del sistema GIS, lo cual ayudó a establecer con exactitud cada uno de los puntos.

Para los análisis físico químico de las muestras, fueron colectadas el mismo día en los diferentes sitios, a una sola profundidad de la columna de agua (0.5 m, toma superficial), utilizando botellas plásticas tipo termo completamente nuevos y sellados (**Anexo VII**).

El método ácido vanadomolibdofosfórico utilizado en la determinación de fósforo total (Pt) se realizó a partir de la digestión con ácido sulfúrico-ácido (H₂SO₄), nítrico (HNO₃) y determinación calorimétrica.

El método de análisis, consistió en una solución diluida en sal de ortofosfato, así, el molibdato amonio reaccionaría en condiciones ácidas para formar un heterpoliácido y ácido molibdofosfórico. En presencia del vinilo, se formaría ácido vanadomolibdofosfórico amarillo y de esta manera la intensidad del color amarillo sería proporcional a la concentración de fósforo.



Para la determinación de nitrógeno total (N-total), se tomó en cuenta el método de Macro-Kjeldahl. El método consistió en que el nitrógeno en presencia de ácido sulfúrico y en adición de sulfato de potasio y catalizador de sulfuro de mercurio; el nitrógeno en presencia de estas soluciones inorgánicas así como el amoníaco libre y el amonio, se convertiría en sulfato de amonio.

Durante el proceso de digestión de la muestra, se formó un complejo de mercurio de amonio, el cual fue descompuesto por el tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Posteriormente se procedió a destilar el amoníaco en un medio alcalino y finalmente absorbido en ácido bórico. Finalmente, el amoníaco fue determinado por titulación con ácido sulfúrico.

Dichas muestras fueron colectadas por el personal del CIDEA-UCA y los análisis fueron realizados por el personal de laboratorio del CIEMA-UNI, mismos que son parte de un seguimiento ambiental en el cual dicho proyecto es sometido por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

De tal forma que los datos utilizados son confiables y útiles para conocer el estado trófico del Lago Cocibolca y llevar a cabo uno de los objetivos de nuestro estudio. El muestreo fue realizado en el periodo del 2005 al 2007, tomándose 209 muestras de diferentes parámetros, en los cuales incluyen 42 análisis de Nitrógeno Total y 42 de Fósforo Total. Dicho muestreo se realizó mediante una red de monitoreo, la cual coincide en 4 de los 7 puntos que se asemejan al muestreo previsto en nuestro estudio, siendo los 7 puntos de esta red: San Ramón, Los Ángeles, Estación Biológica, Moyogalpa, Mérida y Santo Domingo (**Anexo VII**).

El análisis de fósforo total se realizó a través del Método Espectrofotométrico (Oxidación del persulfato) del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1998.



6.2. Recolección de la información

Para la obtención de la información, se utilizó como apoyo una *guía de observación* que permitió recopilar datos en lo referido al uso del suelo y estado de la microcuenca (**Anexo VIII**). Asimismo, se hizo uso de *Cámaras* para demostrar la problemática actual ambiental que atraviesa la microcuenca y por medio de la *Entrevista*, se obtuvo información sobre los aspectos socioeconómicos y ambientales de la Isla Ometepe (**Anexo IX**).

Para la obtención de la información de la estimación de carga de nutrientes, se utilizó el modelo de eutrofización “cálculo de la carga de nutrientes”, el cual fue creado por Jorgensen, S. E y Vollenwieder en 1981 y mejorado por los mismos en 1989. Este modelo necesitó ser alimentado con información como extensión, precipitación, uso de suelo, geología y población del área de estudio.

6.3. Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de la información se realizó mediante la aplicación del modelo de estimación de carga de nutrientes de Jorgensen y Vollenwieder, y el Modelo Simplificado para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales, análisis de laboratorio (método fósforo-nitrógeno). Los datos y cálculos fueron procesados utilizando el programa Microsoft Excel.

6.4. Geología del área de estudio

Para conocer la geología del área de estudio, se hizo uso de los mapas geológicos del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), la cual fue clasificada conforme a lo requerido por el modelo de carga de nutrientes.



6.5. Precipitación de la cuenca Isla Ometepe

La precipitación de la cuenca se determinó utilizando los datos entregados por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER a través de la Lic. Martha Ibarra, correspondiendo a los registros históricos desde 1997 a 2005 de las estaciones meteorológicas de INETER ubicadas en la Isla Ometepe, siendo estas Altagracia (Código 69068), Moyogalpa (Código 69075) y Mérida (Código 69077). (**Anexo X** Datos precipitación Estaciones de la Isla Ometepe 1997-2005)

Dichos datos históricos de precipitación fueron promediados para ser utilizados en la clasificación estándar con rangos medios de precipitación para las concentraciones de fósforo (cpp) y nitrógeno (cpn) que requiere el modelo, la cual se presenta a continuación:

Cuadro 3. Valor medio de concentraciones de fósforo y nitrógeno

Precipitación	Cpp	Cpn
Rango Medio	0.025-0.1 0.0007	0.3-1.6 1.0

Fuente: (Jorgensen, S. E y Vollenweider, 1989).

El valor de la carga de nitrógeno y fósforo proveniente de la precipitación, se obtuvo a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Ipp (mga}^{-1}\text{)} &= P (\text{Cpp}) \times \text{As (1)} \\ \text{Inp (mga}^{-1}\text{)} &= P (\text{Cpn}) \times \text{As (2)} \end{aligned}$$

Donde:

As= Área superficial (espejo de agua) del Lago

Cpp= Concentración de fósforo

Cpn= Concentración de nitrógeno

P= Precipitación media anual de la cuenca

Ipp: Índice de precipitación de fósforo

Inp: Índice de precipitación de nitrógeno.



En el cálculo de la precipitación, el modelo requiere del área superficial del lago, sin embargo, para fines de estudio, se realizaron modificaciones en la fórmula de precipitación del modelo, debido a que la fórmula señalada anteriormente, correspondería al cálculo de la carga de nitrógeno y fósforo proveniente de la precipitación en el lago Cocibolca, lo cual, afectaría los alcances de nuestro estudio, por lo que se tomaron como área de espejo de agua, la sumatoria de las áreas de espejo de agua de los ríos de la Isla Ometepe (**Anexo XI**).

Para evaluar el área superficial de los ríos, se procedió a calcular la extensión de cada río por su ancho, de esta manera se determinaría el área del espejo de agua, que a su vez sería útil para realizar la evaluación de la precipitación del Nitrógeno y Fósforo en el área de estudio. El cuadro 4, indica los datos correspondientes a este procedimiento.

Cuadro 4. Cálculo del área superficial de los ríos en la microcuenca Isla Ometepe.

Río	Largo (m)	Ancho (m)	Area (m ²)
Istiam	2200	7	15400
Balgue	1450	4	5800
Tichaná	2300	4	9200
Buen suceso	1250	10	12500
			42900

Fuente: Elaboración propia

6.6. Uso de suelo

El uso de suelo del área de estudio se tomó en base al mapa de uso actual del Censo Agropecuario del 2003, realizado por el Ministerio de Agricultura y Forestal (**Anexo XII: Mapa de uso actual de suelo**)

Las categorías del uso de suelo de la Isla Ometepe establecidas por el Censo Agropecuario 2003, fueron ajustadas a las diferentes categorías del modelo de cálculo de la carga de nutrientes, las cuales se definen a continuación:

1. **Escurrecimiento en bosque:** Son las áreas de bosque en donde la precipitación que es interceptada por la cubierta vegetal, corre hacia el suelo por el tronco o ejes principales de la planta sin infiltrarse en el suelo.
2. **Bosque+pastura:** Son las agrupaciones de plantas en las que predominan los árboles y otros vegetales leñosos, generalmente con un suelo de cierto grado de espesura, con asociaciones de hierba y comida.
3. **Áreas Agrícolas:** Son las extensiones de áreas geográficas en que se presenta una determinada especie vegetal o animal

Así mismo, el modelo cálculo de la carga de nutrientes, establece valores medios que se deben considerar para determinar la geología y tipo de uso del suelo a como se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro.5. Esquema de exportación de fósforo y nitrógeno, E_N ($\text{mg} \cdot \text{a}^{-1}$)

Uso del suelo	Ep Clasificación Geología Ígnea	Sedimentaria	En Clasificación Geología Ígnea	Sedimentaria
Escurrecimiento en Bosque	0,7-9	7-18	130-300	150-500
Rango Media	4,17	11,7	200	340
Bosque + Pastura	7-12	11-37	200-600	300-800
Rango Media	10,12	23-3	400	600
Áreas Agrícolas	18			2-240 100-850
Citrus	15-75			500-1200
Pastura Labranza	22-100			

Fuente: (Jorgensen, S. E y Vollenweider, 1989).

Siendo:

Ep: Exportación de fósforo (miligramo/año)

En: Exportación de nitrógeno (miligramo/año)

La información del uso actual de suelo de la Isla Ometepe según el CENAGRO (Ver Cuadro No 2), se ajustó al uso de suelo determinado por el modelo cálculo de la carga de nutrientes, esto con el fin de establecer el tamaño de las áreas de cada uso de suelo. Una vez establecidas las áreas,

se agruparon según sus categorías a como se indica en el modelo descrito, de esta manera se colocaron como sigue en la Cuadro 6.

Cuadro 6. Uso de suelo según el método cálculo de la carga de nutriente.

Uso según Método	ha	m ²
Escurrecimiento en bosque	6382.552	63825520
Bosque + pastura	7577.247	75772470
Áreas agrícolas:		
Citrus		
Pastura	14264.683	142646830
Labranza	5978.885	59788850
Geológica de nitrógeno		
Áreas agrícolas:		
Pastura	14264.683	142646830
Labranza	5978.885	58109350

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, el modelo cálculo de la carga de nutrientes, establece los valores medios para las formaciones geológicas que cuentan con el tipo de roca sedimentaria, a partir de los rangos que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro.7 Valores medios de la clasificación geológica del nitrógeno

Áreas Agrícolas	En clasificación Geológica Sedimentaria	
	Rango	Media
Pastura	100-850	475
Labranza	500-1200	800

Fuente: (Jorgensen, S. E y Vollenwieder, 1989).

Para conocer la carga de nitrógeno y fósforo proveniente del uso del suelo, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Donde:

$$I_{pt} \text{ (mg a}^{-1}\text{)} = AT \text{ (m}^2\text{)} \times E_p \text{ (mg m}^2 \text{ a}^{-1}\text{)}$$

$$I_{nt} \text{ (mg a}^{-1}\text{)} = AT \text{ (m}^2\text{)} \times E_n \text{ (mg m}^2 \text{ a}^{-1}\text{)}$$

I_{pt} = Cantidad total de fósforo (miligramos/año).

I_{nt} = Cantidad Total de nitrógeno (miligramo/año)

At : Área total en metros cuadrados



Ep: Exportación de fósforo (miligramo/año)

En: Exportación de nitrógeno (miligramo/año)

6.7.Cargas artificiales de fósforo y nitrógeno

Las cargas artificiales de fósforo y nitrógeno se calcularon a partir del número de habitantes de la Isla Ometepe, según el último censo poblacional, la población flotante (turistas) y las descargas per cápita anuales de fósforo y nitrógeno utilizando la media como valor constante que brinda el modelo. En el Cuadro 8, se muestran los valores medios de las descargas per-capitas anuales.

Cuadro.8. Valores medios de las descargas per- capita anuales de fósforo y nitrógeno establecidos en el modelo de eutrofización.

Nutrientes	Descargas per capita anuales	Media
Fósforo	800-1800 g	1200
Nitrógeno	300-3800g	3400

Fuente: (Jorgensen, S. E y Vollenweider, 1989).

El aporte de carga artificial de nitrógeno y fósforo, se obtuvo a partir de la multiplicación del número de habitantes por la per cápita de descarga anual que establece el modelo.

6.8.Estimación del Estado Trófico del Ecosistema

Para la estimación del estado trófico de las aguas del Lago Cocibolca, se utilizó el modelo simplificado para la evaluación de eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales. Los resultados del muestreo de aguas, en lo referido a las concentraciones de fósforo se ubicaron en el gráfico de distribución probabilística (**Anexo XIII**); de tal forma que según las concentraciones de fósforo en los diferentes puntos de muestreo correspondía a uno o varios estados tróficos los puntos evaluados en el Lago Cocibolca.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Estado de la microcuenca

La aplicación de las guías de observación, permitió recopilar datos en lo referido al uso del suelo y estado de la microcuenca, así como datos para la aplicación del modelo de eutrofización. Los resultados de la observación en campo fueron los siguientes:

La Figura 4, muestra la división porcentual de los diferentes puntos de observación en referencia al uso de suelo; así, el forestal presentó el mayor porcentaje con 32%, seguido del agrícola y urbanístico con 29% y 21%, respectivamente. En menores porcentajes se encuentran los usos de suelo turístico con 12% y agroforestal, presentó 6%.

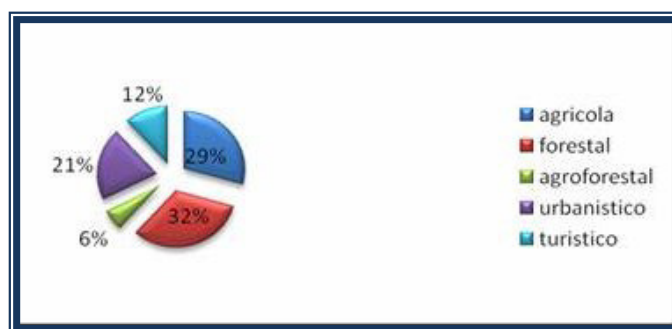


Figura 4. División porcentual del uso de suelo

De acuerdo a la Figura 4, se observa que el área de estudio, es un área en desarrollo que depende de la agricultura y de sus bosques. Geográficamente, las actividades agrícolas pueden identificarse fácilmente en la parte baja y media de la cuenca, es decir, en las faldas de los volcanes Concepción y Maderas, mientras que el uso forestal en la parte alta de la cuenca. (Anexo XIV)

El tipo de vegetación observada se establecen de forma porcentual en la Figura 5; predominan en ella los cultivos agrícolas con 40%, los bosques más pasturas representan el 32% y los bosques 24%. El pasto es el tipo de vegetación con menor porcentaje observado con 4%.

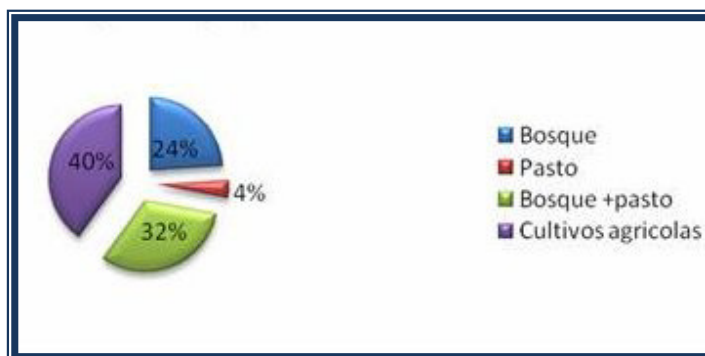


Figura 5. Tipo de vegetación porcentual del área de estudio

De manera análoga al uso de suelo, los cultivos agrícolas y pastos fueron observados en las zonas medias y baja de la cuenca, mientras que los bosques se identificaron en la parte alta del área de estudio.

Durante el recorrido en la aplicación de la guía de observación, se identificaron actividades socioeconómicas el como cultivo de tilapia, actividades agropecuarias y actividad turística expresadas porcentualmente en la Figura 6.

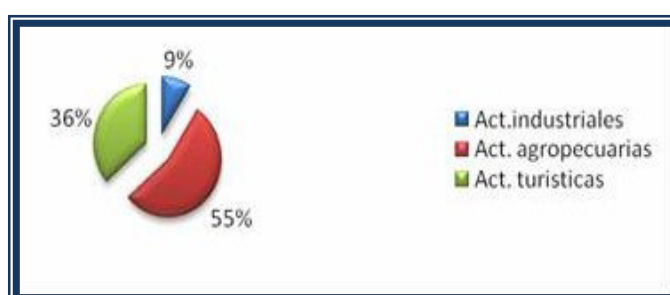


Figura 6. Distribución porcentual de las actividades socioeconómicas que se realizan en la Isla Ometepe

Como se aprecia en la Figura 6, la actividad socioeconómica predominante fue la agropecuaria con 55%, seguida por la actividad turística 36% y las industriales, solamente representan el 9%. Es importante señalar que estos porcentajes están relacionados a la frecuencia de estas



actividades durante el recorrido de campo, no incluyen ganancias netas, impuestos generados o cualquier otro aspecto económico.

Las actividades socioeconómicas observadas muestran que el área de estudio es un área en desarrollo, cuya economía depende de las actividades agropecuarias y una creciente industria turística que podría ayudar a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la Isla Ometepe.

Durante el recorrido por el área, se logró observar que en algunos puntos como Urbaite, El Buen Suceso y en la Playa Taguizapa no existe un manejo adecuado de los residuos sólidos ya que se observaron prácticas como la quemas de basura en las vías públicas y acumulación de residuos plásticos (**Anexo XV**).

La falta de cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos por parte de las municipalidades incurre en los pobladores para que se realicen quemas como mecanismo de eliminación de los mismos y evitar posibles enfermedades y en otros casos, la falta de educación ambiental y desconocimiento del valor paisajístico y de recreación que tienen las playas de esta isla, hace que sus habitantes ensucien y depositen residuos sólidos en sus alrededores.

Con respecto a las aguas residuales, no se identificaron descargas directas de aguas residuales domésticas o industriales hacia el Lago Cocibolca. Esto se asume a la falta de un alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales y la forma más común de tratamiento o disposición de las aguas residuales domésticas son los sumideros y fosas sépticas. No obstante, hay actividades que podrían estar afectando la calidad de las aguas en esta zona del Lago Cocibolca como el lavado de carretones y el ganado que ocupa esta agua como una especie de abrevadero.



7.2.Carga de nutrientes

Para la determinación de la cantidad de carga de nutriente que se deposita en el lago, se muestra a continuación en el Cuadro 9 los resultados correspondientes a la precipitación en la microcuenca Isla Ometepe.

Cuadro 9. Carga de nitrógeno y fósforo proveniente de la precipitación en la Isla de La Isla Ometepe

Componente	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Total
Precipitación	0.000004	0.000056	0.000060

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 9, muestra que la carga aportada de fósforo por la precipitación es de 4×10^{-6} ton/año mientras que para el nitrógeno, ésta aporta 5.6×10^{-5} ton / año.

Esta diferencia de mayor carga de nitrógeno respecto al fósforo, está relacionado a que el nitrógeno es el elemento con mayor concentración en la atmósfera, misma que esta siendo influenciada por la actividad volcánica presente en el ecosistema representando aproximadamente el 78% de los gases que forman la misma; en segundo lugar, el nitrógeno puede formar compuestos volátiles durante su ciclo, pasando así de las aguas de los lagos o mares hacia la atmósfera.

A diferencia del fósforo, este no puede formar compuestos volátiles y no logra ascender a la atmósfera, además las cantidades en la que se encuentra en el ambiente son reducidas y son aprovechadas por la biomasa.



Cuadro 10. Carga de nitrógeno y fósforo proveniente del uso de suelo

Uso de suelo	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Total
Escurrecimiento en Bosque	0.266	13.722	13.989
Bosque + pastura	0.773	30.309	31.082
Pasturas	6.419		6.419
Labranzas	3.647		3.647
Total	11.1053	44.0315	55.137

Fuente: Elaboración propia

Para la carga proveniente del uso de suelo, se generaron por año 11.1053 ton de Fósforo y 44.0315 ton al año de Nitrógeno de los cuales se obtuvo 55.137 ton/ año en total de carga de nutrientes que se generan por año en la microcuenca.

En lo referido a la carga de fósforo, el escurrecimiento en bosque y bosque mas pastura, solamente generan 0.266 y 0.773 ton/ año respectivamente, mientras que los usos de suelo correspondientes a pasturas y labranzas, generan 6.419 y 3.647 ton al año, respectivamente.

La razón de estas diferencias, es que las áreas de pasturas y labranzas tienen extensiones mayores donde se presenta la agricultura extensiva, en las que se utilizan fertilizantes que contienen fosfatos los cuales contribuyen al incremento de la carga de nutrientes (**Anexo XVI**).

A diferencia del escurrecimiento en bosque y bosque más pasturas, donde no se encuentra una intervención directa antropogénica, se puede decir que la carga aportada por este uso de suelo es natural.

Con respecto a la carga de Nitrógeno, el uso de suelo y bosque mas pastura, aporta mayor carga de nitrógeno que el escurrecimiento en bosque, siendo estos 30.309 y 13.722 ton/año, respectivamente.

Se considera que la diferencia de áreas en el uso de suelo es apreciable, ya que entre mayor área el aporte de nutrientes es mayor, por otro lado, esta diferencia se vincula con el uso de

fertilizantes con componentes nitrogenado, que son utilizados por los agricultores para elevar su producción.

En términos de porcentaje, se logra observar en la Figura 7, que el Nitrógeno es el nutriente que genera mayor carga a la microcuenca con un 79.9%, en comparación a la carga aportada por el fósforo, la cual corresponde al 20.1% del total producido en el uso de suelo en toda la microcuenca.

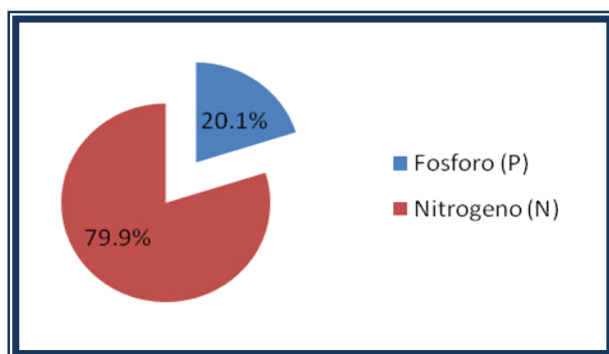


Figura 7: Carga porcentual de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) proveniente de La Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca

El Cuadro 11 muestra la carga de Nitrógeno y Fósforo que provienen de las fuentes difusas o artificiales, en la microcuenca Isla Ometepe.

Cuadro 11. Carga de nitrógeno y fósforo proveniente de las fuentes difusas de la Isla Ometepe

Componente	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Total
Carga Artificial (difusa)	0.070	0.182	0.252

Fuente: Elaboración propia

La cuantificación de los datos, resultó para el Fósforo, 0.070 ton/ año a diferencia del Nitrógeno con una carga de 0.182 ton.

Esta diferencia es debido a que el nitrógeno se encuentra en mayor concentración en las aguas residuales domésticas a causa de la presencia de materia orgánica en las mismas, por lo que su degradación natural es más difícil de efectuar que el fósforo.

La causa de esto es que las aguas residuales sufren un proceso de nitrificación o desnitrificación, que sin un tratamiento efectivo, al llegar a un cuerpo receptor, afectaría la calidad de sus aguas.

Es importante señalar que de la Isla Ometepe, no cuenta con alcantarillado sanitario o sistema de tratamiento municipal, por lo que las aguas residuales domésticas son dispuestas en sistema de tratamiento primario como fosas sépticas, vertidas directamente en sumideros y en el peor de los casos, letrinas.

Este factor representa un riesgo para la calidad de las aguas del lago Cocibolca, debido a que durante los sucesos de precipitación, el escurrimiento y la infiltración de las aguas en el suelo estarían aportando cargas artificiales de nutrientes hacia el Lago, provocando el enriquecimiento de nutriente en sus aguas, o mejor definido como eutrofización del lago.

La Figura 8, muestra en términos porcentuales, que en la carga proveniente de fuentes difusas, el nitrógeno es el que más favorece al enriquecimiento de nutrientes de las aguas del Lago Cocibolca con un 72.2%; sin embargo, la carga aportada por el fósforo la cual corresponde al 27.7%, también contribuye al enriquecimiento de las aguas de ese cuerpo receptor, por tanto no puede ser obviado al momento de realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

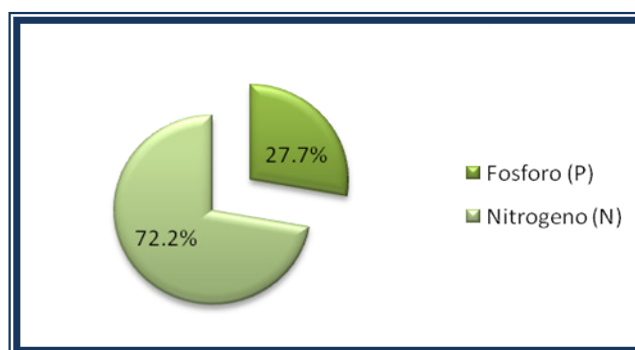


Figura 8. Porcentaje de Fósforo (P) y Nitrógeno (N) proveniente de las fuentes difusas en la microcuenca Isla Ometepe



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

La carga total de nutrientes que se genera en total en la microcuenca Isla Ometepe, se encuentra representada en el Cuadro 12, donde se determinan cada carga calculada de los resultados anteriores, para cada variable, así, el uso de suelo para el fósforo representa un total de 11.105 ton en referencia al nitrógeno con un total de 44.031 ton/año:

Cuadro 12. Carga total de nitrógeno y fósforo proveniente de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca

Componente	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Total
Uso de suelo	11.105	44.031	55.137
Precipitación	0.000004	0.000056	0.000060
Carga Artificial (difusa)	0.070	0.182	0.252
Total	11.1749	44.2137	55.3886

Fuente: Elaboración propia

La precipitación determinada para el fósforo sumó un total de 4×10^{-6} ton a diferencia del nitrógeno con 5.6×10^{-5} ton y para la carga artificial, se puede observar que el resultado fue para el fósforo de 0.070 ton y 0.182 ton para el nitrógeno al año.

De tal forma que la mayor carga de nutrientes es aportada por el uso de suelo con 55.137 ton/año, seguido por el aporte de la carga artificial (0.252 ton/año) y el menor aporte corresponde a la precipitación con 6.0×10^{-5} ton/año.

El total de la carga referida al aporte que genera la microcuenca hacia el lago Cocibolca, fue de 55.3886 ton/año. En términos de porcentaje, la figura 9, muestra que siempre el Nitrógeno es el elemento de mayor aporte a la cuenca con un 78.8% de carga y para el fósforo con un 20.1% de carga del total depositado en el lago Cocibolca proveniente de la microcuenca Isla de La Isla Ometepe.

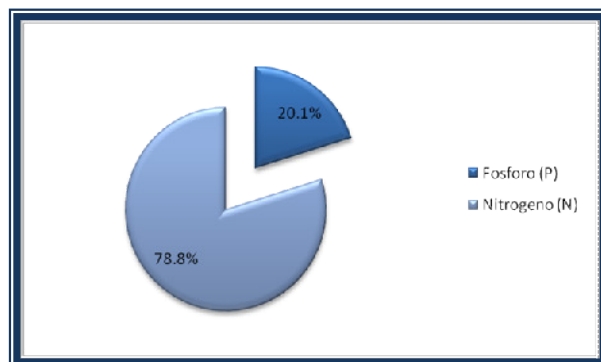


Figura 9. Representación porcentual de la carga de nutrientes total proveniente de la microcuenca Isla Ometepe hacia el lago Cocibolca.

7.3. Estado trófico

El estado trófico en cuerpos de aguas superficiales es un indicador de la tasa de abastecimiento de materia orgánica, ya sea interna por las características del origen del cuerpo de agua o externa, debido al aporte de nutrientes de la cuenca. Un incremento de esta tasa de abastecimiento reflejará un proceso de eutrofización por regímenes naturales o influencia antropogénica, (Esteves, 1998).

Muchos autores, como Margalef (1981), Vollenwieder (1989), entre otros, coinciden que las características morfométricas, físico-químicas y biológicas influyen en el establecimiento de los principales estados tróficos en los cuerpos de aguas, de tal forma que el estado trófico puede indicar también el estado ambiental de los mismos. (Olivares, 2003).

Después de haber ubicado los resultados del fósforo total en el gráfico de distribución probabilística de Vollenweider & Kerekes (1989), los diferentes puntos de muestreo resultaron con el siguiente estado trófico:



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Cuadro 13. Estado trófico de los diferentes puntos de muestreo localizados en la microcuenca Isla Ometepe (2005-2007).

Punto de muestreo	Coordenadas UTM	Promedio fósforo total (mg/m ³)	Estado trófico del lago	Resultado (%)
La Jaula	0659455 1261267	87	Ultraoligotrófico	-
			Oligotrófico	5
			Mesotrófico	33
			Eutrófico	60
			Hipertrófico	2
				100
Los Ángeles	0659709 1260659	81	Ultraoligotrófico	-
			Oligotrófico	3
			Mesotrófico	50
			Eutrófico	45
			Hipertrófico	2
				100
Estación Biológica	0659088 1261837	110	Ultra oligotrófico	-
			Oligotrófico	-
			Mesotrófico	18
			Eutrófico	70
			Hipertrófico	12
				100
Moyogalpa	0641050 1275656	222	Ultra oligotrófico	-
			Oligotrófico	-
			Mesotrófico	6
			Eutrófico	42
			Hipertrófico	52
				100
Mérida	0658347 1262614	83	Ultra oligotrófico	-
			Oligotrófico	5
			Mesotrófico	43
			Eutrófico	50
			Hipertrófico	2
				100
Santo Domingo	0657842 1272775	51	Ultra oligotrófico	2
			Oligotrófico	42
			Mesotrófico	53
			Eutrófico	3
			Hipertrófico	-
				100

Fuente: Elaboración propia



En el Cuadro 13, se pueden apreciar los estados tróficos de los puntos de muestreo La Jaula, Los Ángeles, Estación Biológica y Mérida predomina un estado entre mesotrófico y eutrófico, mientras que en Moyogalpa prevalece un estado eutrófico-hipertrófico y Santo Domingo, se encuentra entre oligotrófico y mesotrófico (**Anexo XVII**).

Basándonos, en el gráfico de distribución probabilística de Vollenweider & Kerekes (1981), en los puntos de muestreo existen una diferencia en la concentración de fósforo total, que pueden agruparse como alto, medio y bajo, de tal forma que el punto Moyogalpa presenta una concentraciones alta con 222 mg/m^3 .

La Jaula, Los Ángeles, Estación Biológica y Mérida con 87, 81, 110 y 83 mg/m^3 , respectivamente, se encuentran dentro de concentraciones medias de fósforo y Santo Domingo, obtuvo una concentración baja de fósforo con 51 mg/m^3 .

Los datos observados en el estado trófico de las aguas están relacionados con el aporte de carga de nutrientes proveniente del uso de suelo, el cual es la mayor fuente de fósforo y nitrógeno según los resultados de este estudio.

En el departamento de Rivas, según el III Censo Agropecuario Anual Nacional del 2001, los municipios de Moyogalpa y Altagracia, son el primer y segundo municipio que utilizan el 31 y 24 % de la superficie de sus territorios en cultivos anuales tales como arroz, sorgo, musáceas, entre otros, para lo cual aplican fertilizantes con el interés de aumentar su producción, que finalmente al no existir obras de conservación de suelo, los fertilizantes son arrastrados hacia la parte baja de la cuenca, es decir, el Lago Cocibolca, reflejándose así en el estado trófico de este cuerpo de agua.

Asimismo, el estado trófico y la carga de nutrientes por medio del uso de suelo, está vinculado a otras actividades productivas como el cultivo de tilapia, ganadería extensiva y la misma ocupación habitacional, generan un aporte significativo de nutrientes para la cuenca.



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Es importante señalar que las condiciones topográficas del área de estudio, en aquellos lugares donde hay diferencia significativa de pendiente, por ejemplo, en los puntos de muestreo Estación Biológica y Moyogalpa, en la parte baja de la cuenca existen cotas entre 35 y 40 msnm y se elevan entre 950 y 1400 msnm, los cuales en términos de distancia, significan una diferencia de 6 a 10 km, condiciones topográficas idóneas para que en periodos lluviosos, mediante la combinación de la fuerza del arrastre de la corriente y el mal manejo de la cuenca, los nutrientes sean fácilmente transportados al Lago Cocibolca.



VIII. CONCLUSIONES

1. El área de estudio es un área en desarrollo económico que depende de sus bosques y de la agricultura.
2. Dentro de los componentes que caracterizan la microcuenca de la Isla Ometepe, el uso de suelo forestal presentó el mayor porcentaje con 32%, ya que es altamente productivo para el desarrollo de la microcuenca; seguidamente el agrícolas con 29% y el urbanístico con 21%, respectivamente. En menores porcentajes se encontraron los usos de suelo turístico con 12% y el agroforestal con 6%.
3. La actividad socioeconómica predominante en toda la microcuenca fue la agropecuaria con 55%, seguida por la actividad turística con 36% y las industriales, solamente representaron el 9%.
4. La falta de educación ambiental en la población y cobertura para el servicio de recolección de residuos sólidos por parte de la municipalidad, reduce el valor paisajístico, recreación y control de las fuentes contaminantes provocando mayor deterioro de la reserva e incrementando la generación de nutrientes en la microcuenca Isla Ometepe.
5. No se identificaron descargas directas de aguas residuales domésticas o industriales hacia el Lago Cocibolca, no obstante, existen fuentes difusas como lavado de vehículos de tracción animal y ropa en las orillas del Lago que aportan el enriquecimiento de nutrientes en sus aguas.
6. La carga aportada de fósforo por la precipitación es de 4×10^{-6} ton/año mientras que para el nitrógeno es 5.6×10^{-5} ton / año, indicando que el nitrógeno es el elemento con mayor concentración en la atmósfera.



7. El aporte de la carga de fósforo y nitrógeno proveniente del uso de suelo, está relación al tamaño del área ocupada, actividad ganadera migratoria y al uso de fertilizantes que contienen fosfatos contribuyendo al incremento de la carga de nutrientes.
8. El uso de suelo con mayores áreas fueron los componentes pasturas y labranzas generando 6.41 y 3.64 ton/año de fósforo en la microcuenca, mientras que el escurrimiento en bosque y bosque mas pastura, solamente generaron 0.266 y 0.773 ton/año de fósforo cada uno.
9. No existe un tratamiento eficientemente donde se elimine carga orgánica, patógenos y nutrientes como fósforo y nitrógeno.
10. La carga artificial difusa aportada, representan un riesgo para la calidad de las aguas del lago Cocibolca, dado a que en la isla la mayor parte de las aguas residuales están siendo sometidas a un tratamiento primario, el cual no remueve eficientemente los nutrientes.
11. El comportamiento del estado trófico de las aguas en el Lago Cocibolca según el gráfico de distribución probabilística de Vollenweider & Kerekes (1981), están relacionados principalmente con el uso de suelo, el cual representa la mayor fuente de aportación de Nutrientes.
12. Las condiciones topográficas del área de estudio, juegan un rol importante para el estado trófico de las aguas en esta zona, especialmente en aquellos lugares donde existen relieves accidentados o pendientes mayores al 30%.
13. De acuerdo a los datos encontrados en todo el estudio, la aplicación del método y gráficas representadas, se ha llegado a la conclusión, que el Lago Cocibolca se encuentra en un estado de mesotrófico-eutrófico, a excepción de Moyogalpa que por su ubicación, su población, las actividades económicas y la falta de infraestructura destinada al tratamiento de las aguas residuales así como sus características topográficas lo convierten en exportador importante de nutrientes, calificándose su estado trófico como eutrófico-hipertrofico.



IX. RECOMENDACIONES

Basados en las conclusiones del presente estudio, se deberán realizar las siguientes medidas para prevenir y reducir el aporte de la carga de nutrientes proveniente de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca:

1. Las autoridades municipales en coordinación con el Ministerio de Agricultura Ganadería y Forestal deberán trabajar con los productores de la microcuenca en estudio uniendo esfuerzos para la reducción de las quemas en los ciclos agrícolas con el fin de proteger la capa fértil del suelo evitando así su degradación y erosión que conllevaría a facilitar el escurrimiento de nutrientes hacia el Lago Cocibolca.
2. El Ministerio de Agricultura Ganadería y Forestal, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en el marco de sus competencias, se sugiere que las mismas apliquen el marco legal ambiental relacionado con la reserva natural, así mismo faciliten a los productores las diferentes tecnologías e información técnica sobre la construcción de obras de conservación de suelo en la zona alta y media de la microcuenca para reducir el escurrimiento de sedimento y nutrientes hacia el Lago Cocibolca.
3. Se recomienda mejorar el servicio de recolección, transporte y tratamiento de los residuos sólidos en los municipios de la microcuenca con el objetivo de evitar que estos residuos tengan como destino final sitios de interés turístico en la Isla o contribuyan a la contaminación orgánica de las aguas del Lago Cocibolca.
4. La educación ambiental en el área de estudio deberá ser realizada de forma transversal por las autoridades municipales y entes gubernamentales a toda la ciudadanía, de tal manera que se cree conciencia en el uso y manejo de los residuos sólidos, líquidos, el medioambiente donde habitan.



5. Las municipalidades en coordinación con el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales deberán ordenar el territorio de la microcuenca según la vocación del suelo y las actividades socioeconómicas de la zona, especialmente en la zona alta, donde se está cultivando en pendientes mayores al 30%.
6. Las autoridades municipales en coordinación con el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales y el Instituto Nacional Forestal deberán realizar campañas de reforestación de las zonas forestales degradadas y construcción de obras de conservación de suelo que han sido impactadas por el uso de árboles como fuente de energía y el avance de la frontera agrícola.
7. Se deberán proponer sustitutos de productos para la agricultura para reducir la aplicación de agroquímicos con alta concentración de nitrógeno y fósforo, ya que son utilizados actualmente para incrementar la producción en la microcuenca de estudio.
8. Las autoridades municipales en coordinación con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestal deberán realizar planes de manejo integral del ganado y evitar el crecimiento del hato ganadero, de tal forma que no se produzca antagonismo con el potencial turístico de la Isla Ometepe y se continúe con el proceso de aumento de carga de nutrientes en la isla proveniente de la misma.
9. Desarrollar un estudio de prefactibilidad técnica- económica y ambiental para el diseño y construcción de un relleno sanitario en cada uno de los municipios de la Isla Ometepe que permita un manejo integral de los residuos sólidos en los mismos.
10. Desarrollar un proyecto de factibilidad técnica, económica y ambiental para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario y la estación central de tratamiento de las aguas residuales en cada uno de los municipios de la Isla Ometepe que permita un tratamiento eficiente de dichas aguas, incluyendo remoción de nutrientes.



X. BIBLIOGRAFÍA

1. CARLSON, R.E., Limnology and Oceanography, A trophic state index for lakes.1977.361-369.22(2):
2. Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA-UNAN (2007). Carga de Macronutrientes (fósforo y nitrógeno) de los Principales Tributarios del Departamento de Chontales que drenan al Lago Cocibolca. Nicaragua.
3. CIRA. *Dinámica del Lago Cocibolca*. Consultado en Marzo 20, 2008 en www.cocibolca.cira-unan.edu.ni/dinamica_del_lago_como_lago_tropical.html
4. CIRA. Características físicas *del Lago Cocibolca*. Consultado en Marzo 20, 2008 en www.cocibolca.cira-unan.edu.ni/caracteristicas_fisicas.html
5. Cortés, F. (2005). Carga de Nutrientes (Fósforo y Nitrógeno Total) en la cuenca de drenaje superficial del Lago de Apoyo, Nicaragua.
6. Esteves, F. (1998). Fundamentos de limnología. Editorial Interciencia. Río de Janeiro, Brasil.
7. INETER. *Caracterización geográfica del territorio nacional*. Consultado en Febrero, 20, 2008 en www.ineter.gob.ni/caracterizaciongeografica/capitulo7.html
8. INIFOM. *Caracterización municipios*. Consultado en Febrero, 20, 2008 en www.inifom.gob.ni/caracterizacion/moyogalpa
9. INIFOM. *Caracterización municipios*. Consultado en Febrero, 20, 2008 en [www.inifom.gob.ni /caracterizacion/altagracia](http://www.inifom.gob.ni/caracterizacion/altagracia)
10. INIDE. *Estadísticas*. Consultado en Febrero, 20, 2008 en www.inide.gob.ni/estadisticas/censos

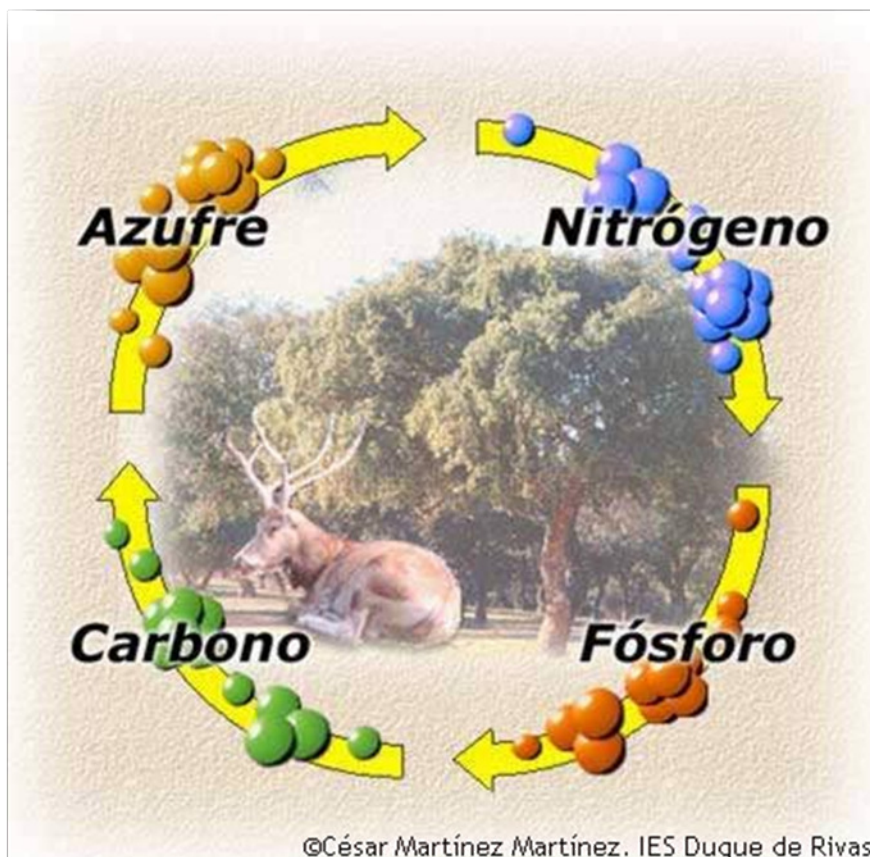


11. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2006). “Aporte de Nutrientes por Fuentes No Puntuales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo”. Michoacán, México.
12. Jorgensen, S. E. y R. A. Vollenweider,(1989). Principios Generales sobre Gestión de Lagos. Directrices para la Gestión de Lagos. Volumen 1. Comité Internacional de Ambientes Lacustres. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
13. Margalef, R. (1981). Limnología. Ediciones Omega. Barcelona.
14. Mendoza, (2003). Modelado De La Cuña Salina Y Del Flujo De Nutrientes En El Tramo Estuarino Del Río Ebro. Universidad de Barcelona. Barcelona, España.
15. Lacayo, M. (2005). Origen de los lagos. Recopilación de apuntes limnológicos. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
16. Olivares, M. (2003). Limnología y eutrofización. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
17. Salas, H. (2001). Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS, Lima, Perú.
18. Universidad Austral de Chile (1993) “Determinación de la capacidad de carga en el lago Rupanco”. Osorno Chile.



Anexos

ANEXO I.



Ciclo Biogeoquímico

Hay tres tipos de ciclos biogeoquímico interconectados, *gaseoso*, *sedimentario* e *hidrológico*. En el ciclo gaseoso, los nutrientes circulan principalmente entre la atmósfera y los organismos vivos.

En la mayoría de estos ciclos, los elementos son reciclados rápidamente, con frecuencia en horas o días y sus principales ciclos dentro de este ciclo, son los del carbono, oxígeno y nitrógeno.

En el ciclo sedimentario, los nutrientes circulan entre la corteza terrestre (suelo, rocas y sedimentos), la hidrosfera y los organismos vivos. Los elementos en este ciclo, generalmente reciclan mucho más lentamente que en el ciclo atmosférico, porque los elementos son retenidos

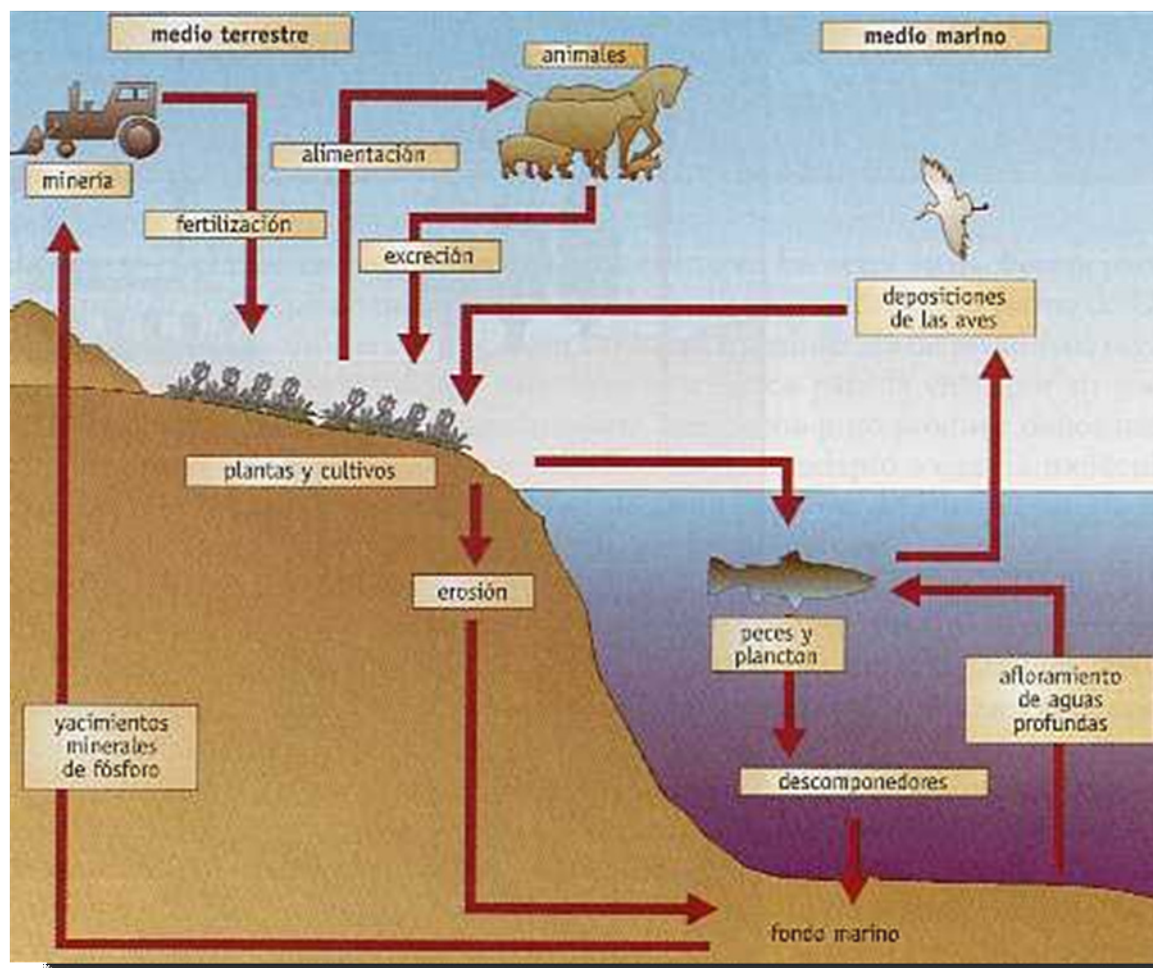


en las rocas sedimentarias durante largo tiempo geológico (hasta de decenas a miles de milenios y no tienen una fase gaseosa).

El fósforo y el azufre son dos de los 36 elementos reciclados de esta manera. Finalmente el ciclo hidrológico, el agua circula entre el océano, el aire, la tierra y la biota, este ciclo también distribuye el calor solar sobre la superficie del planeta

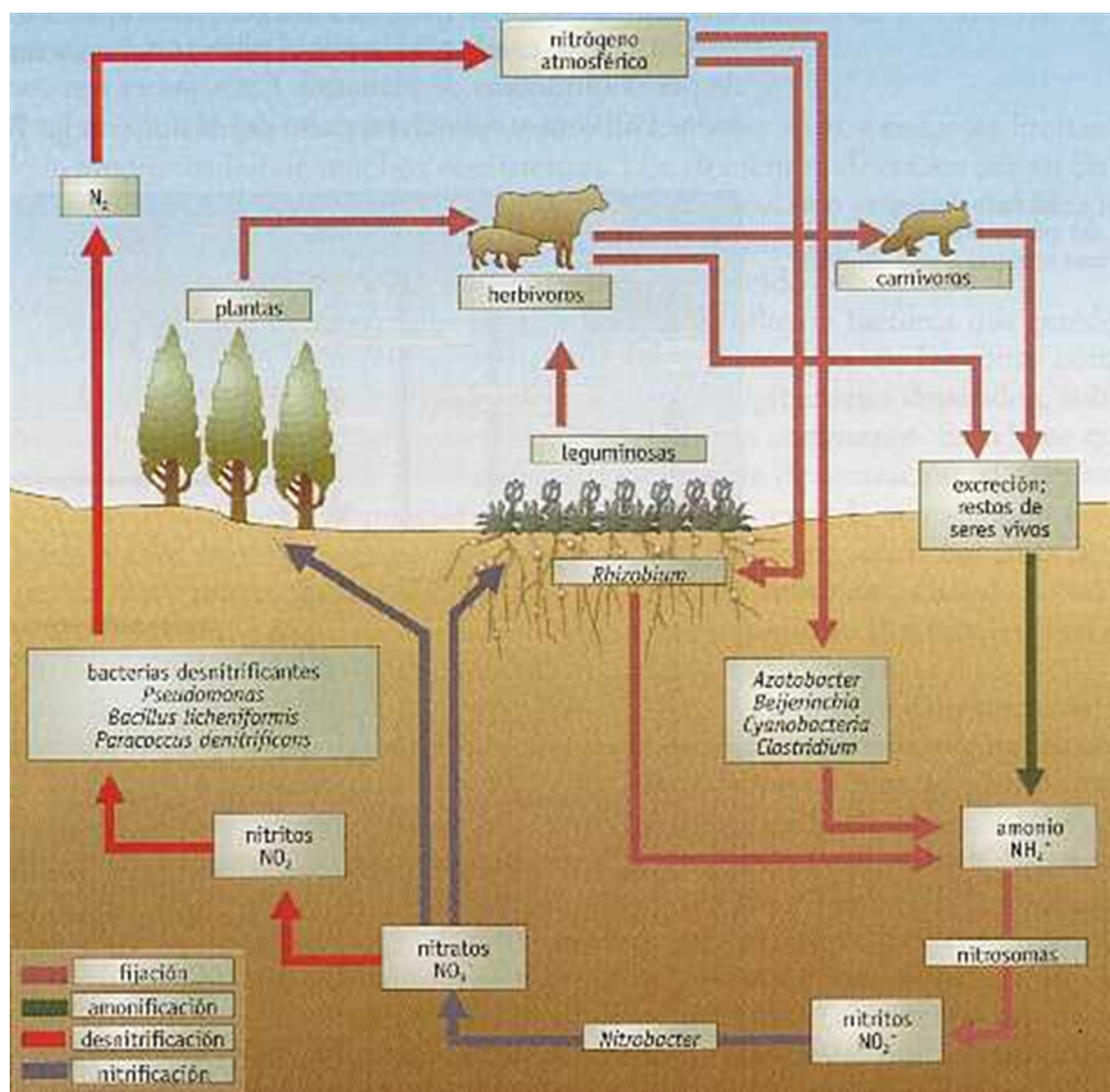
ANEXO II.

La mayor reserva de fósforo está en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas.



Ciclo del Fósforo

ANEXO III



Ciclo del Nitrógeno

ANEXO IV.

Alrededor de la microcuenca, se observaron áreas de cultivo como parte de las prácticas que se manejan para el comercio y el autoconsumo.



Los agricultores cultivan entre otros siembro, el plátano, ajonjolí, tabaco, frijol y arroz, como productos para la distribución nacional y ciertos cultivos para exportación.



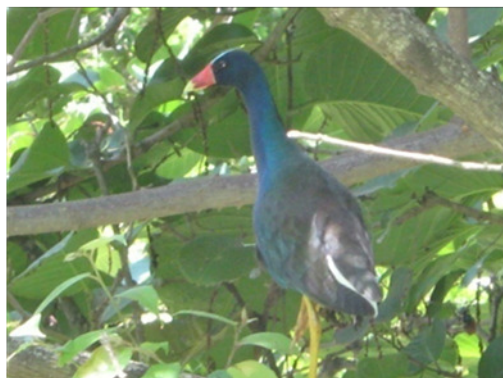
El arroz, es sembrado casi en toda la época del año. El proceso de siembra de este grano se genera a base de alquiler de tierras.



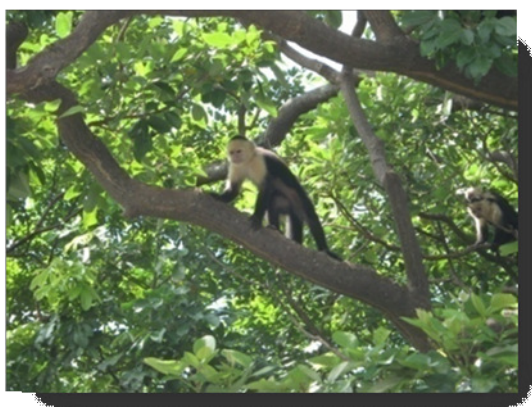
Otro rubro, es la actividad ganadera, en la microcuenca esta actividad es una de las que mas proporciona ingresos a los ganaderos, muchos de ellos no solo mantienen ganado sino que lo combinan con la agricultura a como se muestra en las foto izquierda.

ANEXO V

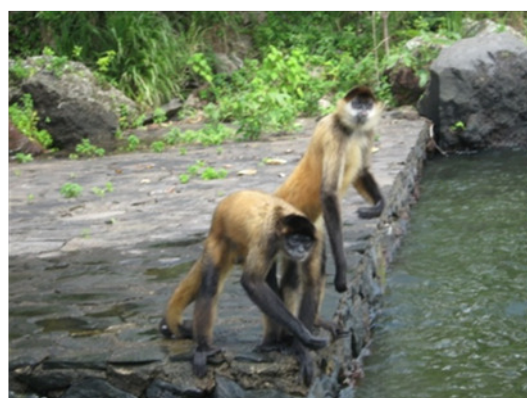
Biodiversidad



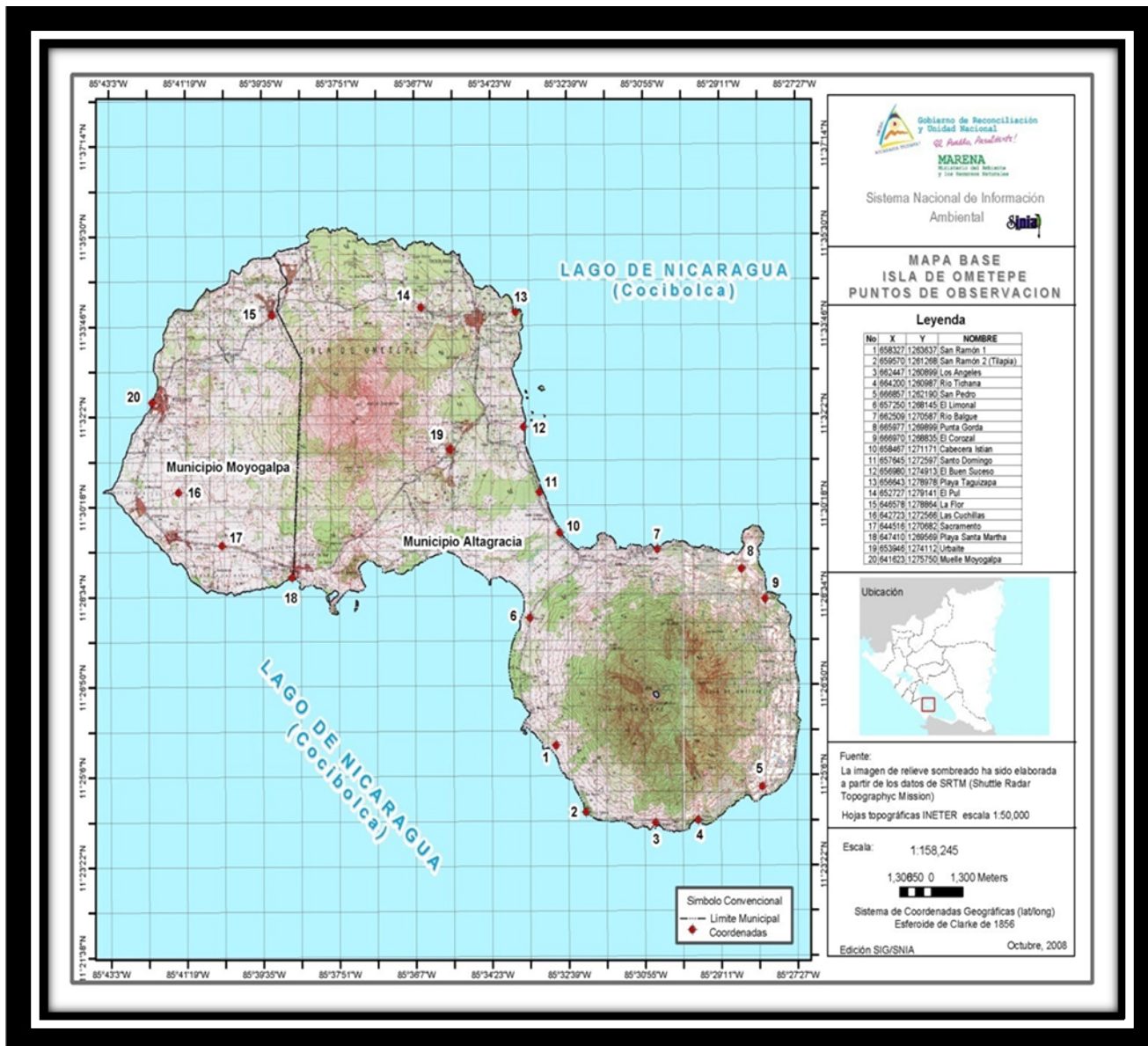
La microcuenca Isla Ometepe, goza de una variedad de especies faunísticas que hacen de la isla un recurso ecológico valioso y diverso.



Durante la toma de muestra bordeando el lago, se pudieron encontrar pequeñas isletas que albergan en su interior, especies como el mono blanco (foto izquierda) y el mono araña (foto abajo).



ANEXO VI



Puntos de Muestreo.

ANEXO VII

Muestreo

Las muestras de agua se tomaron a aproximadamente 50 metros de la costa del lago y se contó en algunos puntos con el apoyo de la empresa NICANOR para rodear y muestrear en tres puntos alrededor de la microcuenca.



Análisis

El proceso de análisis para determinar la cantidad de Nitrógeno y Fosforo total, se realizó en el Laboratorio Ambiental CIEMA-UNI.





ANEXO VIII.

GUÍA DE OBSERVACIÓN

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTAL**

GUIA DE OBSERVACIÓN DIRECTA

I Información general

Lugar: _____

Día _____ Fecha _____

Nombre del observador _____

II Uso de suelo

Agrícola _____

Forestal _____

Agroforestal _____

Urbanístico _____

III Tipo de vegetación

Bosque _____

Pastos _____

Bosque + Pasto _____

Cultivos agrícolas _____



IV Hidrología superficial

Cauces naturales _____

Cárcavas _____

Ríos _____

V Calidad ambiental

Residuos sólidos _____

Aguas residuales _____

Saneamiento _____

VI Socioeconómico

Actividades industriales _____

Actividades agropecuarias _____

Actividades turísticas _____



ANEXO IX.

FORMATO DE ENTREVISTA

ENTREVISTA A PRODUCTORES

¿Qué tipo de cultivo siembra?

¿Qué tipo de fertilizantes utiliza?

¿Qué cantidad de fertilizante aplica por manzana?

¿Realiza quema como técnica de preparación de suelo?

¿Emplea técnicas de conservación de suelo en su finca?

ENTREVISTA A INSTITUCIONES

ALCALDIA

¿El municipio cuenta con un plan de ordenamiento territorial?

¿La municipalidad tiene servicio de recolección y transporte de residuos sólidos?

¿Cuanto es el porcentaje de cobertura de recolección de residuos sólidos en el municipio?

¿Qué problemas ambientales existen en el municipio?

MARENA

¿El área protegida cuenta con un plan de manejo?

¿Hay corte ilegal de árboles dentro o los alrededores del área protegida?

¿Existe un plan de reforestación?

¿Ocurren quemas dentro del área protegida y sus alrededores?

¿Qué problemas ambientales existen en el área protegida?



Anexo X. Datos de precipitación 1997-2005

Estación: - ALTAGRACIA Latitud: 11° 33' 54" N
Código: 69 068 Longitud: 85° 34' 24" W
Parámetro: precipitación (mm) Elevación: 62 msnm

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	suma
1997	29.2	5	4.4	52.6	35.3	177.3	41.1	50.5	99.3	613.9	88	0	1196.6
1998	0	0	0	0	252	134.4	233	295.8	88	-	2.5	23.2	1028.9
1999	17.2	31	3.9	12.9	284.1	252.5	158.3	195.2	217.4	248.2	0	12.3	1433.0
2000	12	0	0	0	112.1	200.1	90.2	221.3	269.8	132.6	89.4	2	1129.5
2001	3.7	20.5	0	0	320.8	130.1	144.9	227.6	393	257.5	36	29.2	1563.3
2002	2.8	41.6	0	2.5	203.3	257.5	203.8	115.3	145.3	15.8	-	-	987.9
2003	64.2	0	0	0	133	195.3	132.8	155.8	107.9	283.9	60.8	0	1133.7
2004	129.1	98.1	8.3	68	1340.6	1347.2	1004.1	1261.5	1320.7	1551.9	276.7	66.7	8472.9
2005	18.4	14.0	1.2	9.7	191.5	192.5	143.4	180.2	188.7	258.7	46.1	11.1	1255.5

Fuente: INETER



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Estación: - MOYOGALPA Latitud: 11° 32' 12" N
Código: 69 075 Longitud: 85° 41' 42" W
Parámetro: precipitación (mm) Elevación: 63 msnm

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	suma
1997	46.2	21.9	0	65.9	38.9	247.7	127.5	129	189.5	340.8	114.7	0	1322.1
1998	0	0	0	0	155.7	346.6	220.7	93.6	182.5	684.7	263.1	62.8	2009.7
1999	120.8	31.9	0	0	199.5	246.3	138.7	322.9	488.3	331	0	0	1879.4
2000	0	0	6.7	2.3	126.6	254.7	161.7	229.1	588.7	145	134.9	34.7	1684.4
2001	0	0	0	0	368.3	184.9	107.3	274.2	325.9	247.5	37	32.4	1577.5
2002	0	-	0	-	0	-	0	19.5	-	-	-	-	19.5
2003	0	-	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0.0
2004	167	53.8	6.7	68.2	889	1280.2	755.9	1068.3	1774.9	1749	549.7	129.9	8492.6
2005	23.9	10.8	1.0	13.6	127.0	256.0	108.0	152.6	355.0	291.5	109.9	21.7	1470.9



Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

Estación: - MERIDA / MERIDA Latitud: 11° 26' 24" N
Código: 69 077 Longitud: 85° 33' 27" W
Parámetro: precipitación (mm) Elevación: 40 msnm

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	suma
1997	56	18.2	8	14.9	0	160.8	78.5	83.8	195.9	208	0	0	824.1
1998	0	0	0	0	39.4	65.5	66.6	186.2	278.4	113.3	74.6	0	824.0
1999	0	0	0	0	121.1	238.6	325.5	206.2	315.3	276	0	0	1482.7
2000	21.8	27.8	20.7	23.2	-	-	228.4	238.2	397.9	72.8	117.4	5.7	1153.9
2001	14.3	3.7	0	51.1	188	179.6	309	100.7	89.5	186.7	-	-	
2002	32.9	32.1	60.7	89.5	153.5	299	123.8	57.7	135.4	109.9	157.6	0	1252.1
2003	0	-	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0.0
2004	125	81.8	89.4	178.7	502	943.5	1131.8	872.8	1412.4	966.7	349.6	5.7	6659.4
2005	20.8	13.6	14.9	29.8	100.4	188.7	188.6	145.5	235.4	161.1	69.9	1.1	1169.9



Anexo XI

Calculo espejo de agua (ríos de Ometepe)

Río	Largo (m)	Ancho (m)	Area (m ²)
Istiam	2200	7	15400
Balgue	1450	4	5800
Tichana	2300	4	9200
Buen suceso	1250	10	12500
			42900

Carga de P y N a partir de la Precipitación

Fósforo

$$I_{pp} \text{ (mga}^{-1}\text{)} = P \text{ (Cpp)} \times A_s$$

Donde:

As= Área superficial del ríos 42900
 Cpp= Concentración de fósforo 0.07

P= Precipitación media anual de la cuenca 1298.8

Ipp: Índice de precipitación de fósforo **0.000004**

mm mg/L m²
 1298.8 0.07 42900
 3900.2964 mg/año/1000000
 0.00 kg/año/1000
 0.000004 ton/año

Nitrógeno

$$I_{np} \text{ (mga}^{-1}\text{)} = P \text{ (Cpn)} \times A_s$$

Donde:

As= Área superficial del Lago 42900

Cpn= Concentración de nitrógeno 1

P= Precipitación media anual de la cuenca 1298.8

Inp: Índice de precipitación de nitrógeno **0.000056**

mm mg/L m²
 1298.8 1 42900
 55718.52 mg/año/1000000
 0.06 kg/año/1000

0.000056 ton/año



Carga de P y N a partir del Uso de Suelo

Fósforo

Escurrecimiento en Bosque

Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
63825520		4.17
266152418.4	mg/año	
0.266	ton/año	

Bosque + pastura

Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
75772470		10.2
772879194	mg/año	
0.773	ton/año	

Áreas Agrícolas

Pasturas

Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
142646830		45
6419107350	mg/año	
6.419	ton/año	

Labranzas

Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
59788850		61
3647119850	mg/año	
3.647	ton/año	

Nitrógeno

Escurrecimiento en Bosque

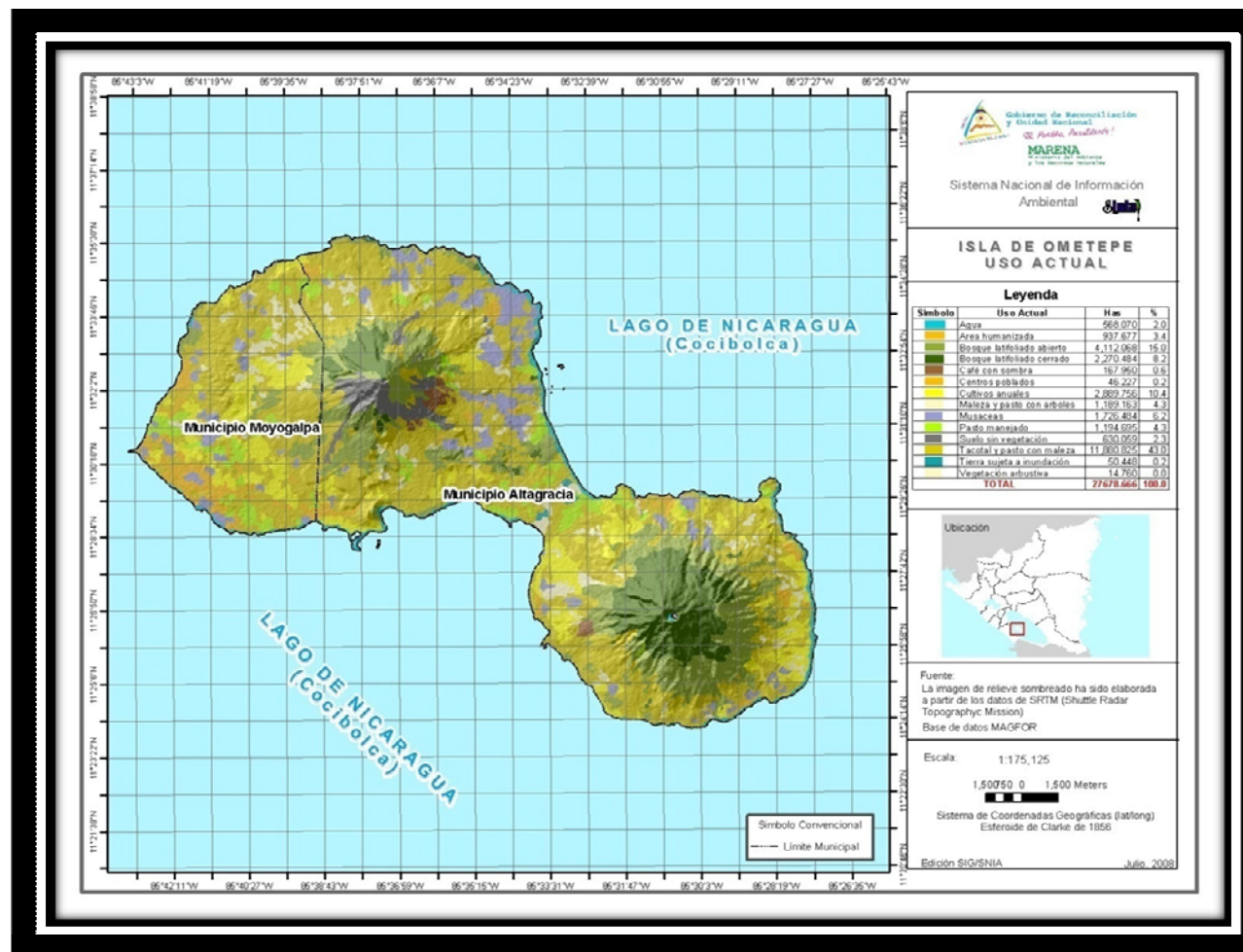
Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
63825520		215
13722486800	mg/año	
13.722	ton/año	

Bosque + pastura

Área (m ²)	concentración (mg/m ² /año)	
75772470		400
30308988000	mg/año	
30.309	ton/año	

ANEXO. XII.

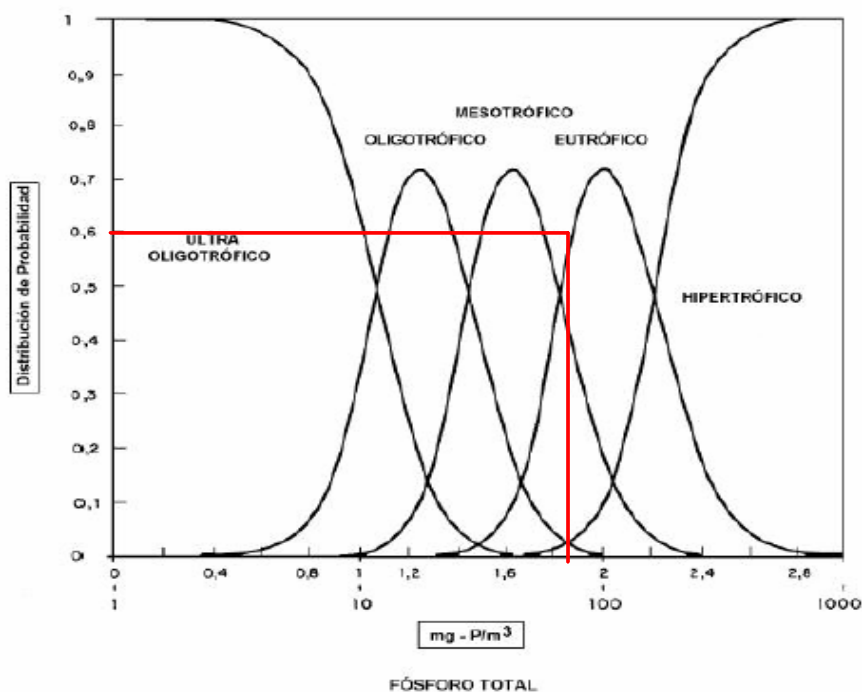
MAPA USO DE SUELO ACTUAL



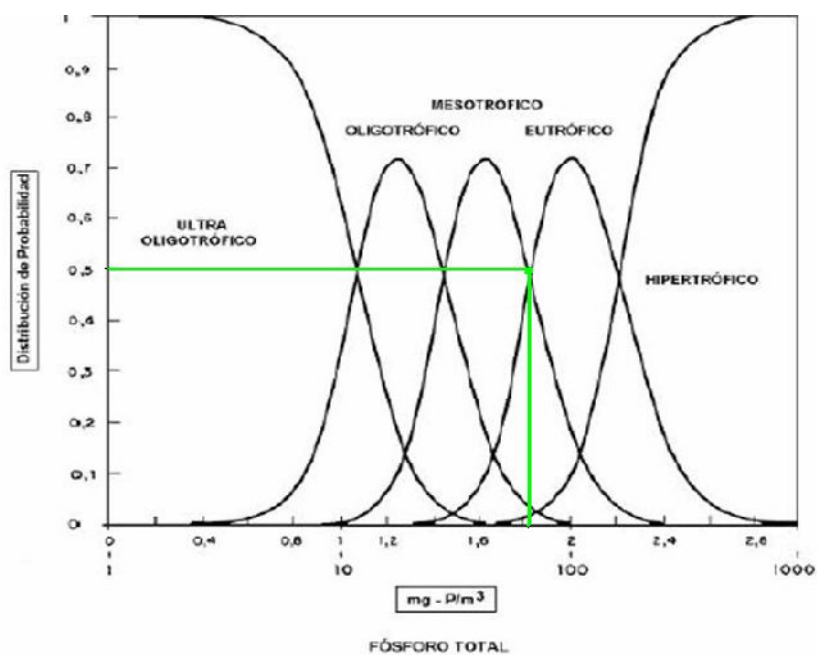


ANEXO. XIII

Estado trófico La Jaula (87 mg/m^3)

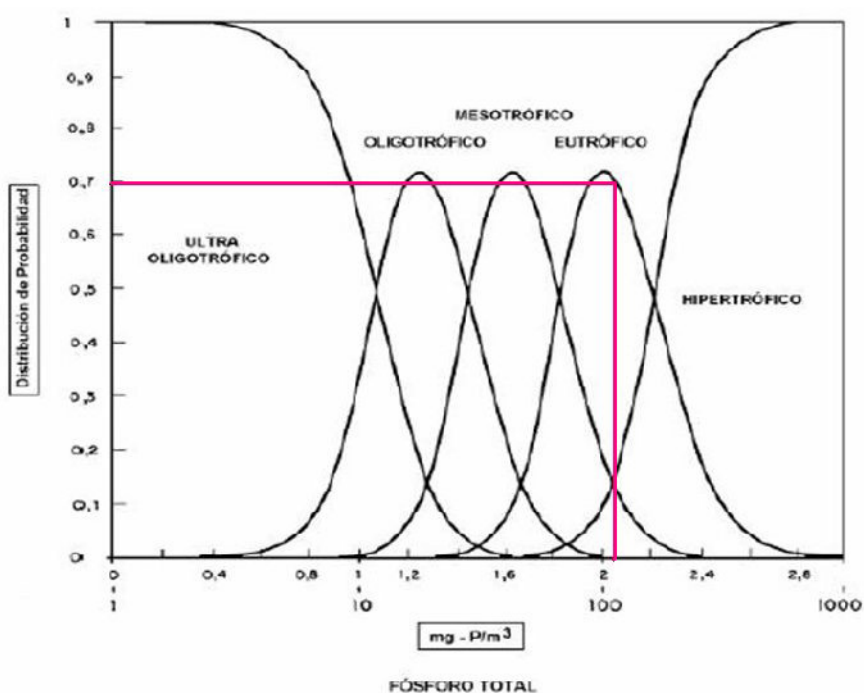


Estado trófico Los Ángeles (81 mg/m^3)

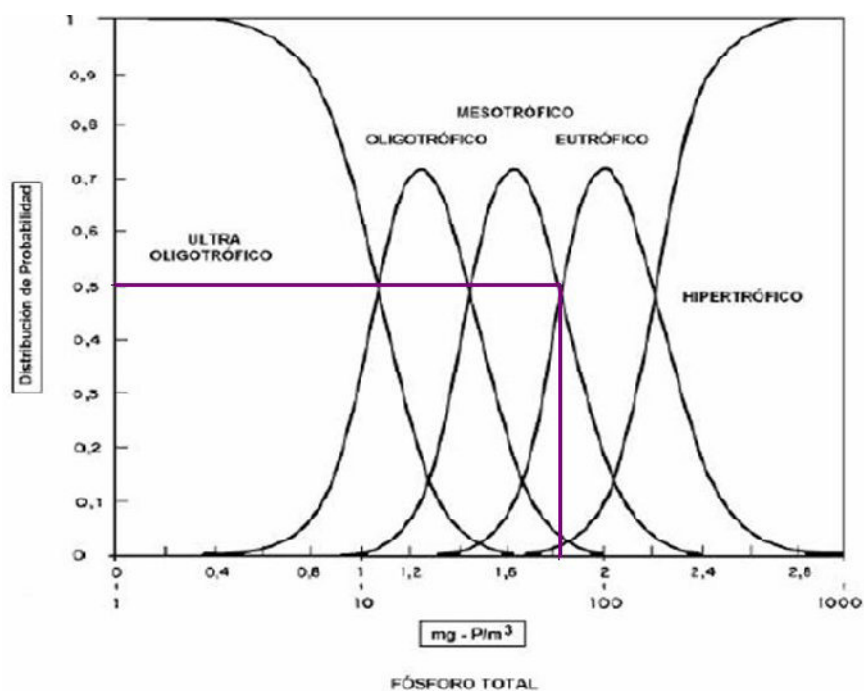




Estado trófico Estación Biológica (110 mg/m³)

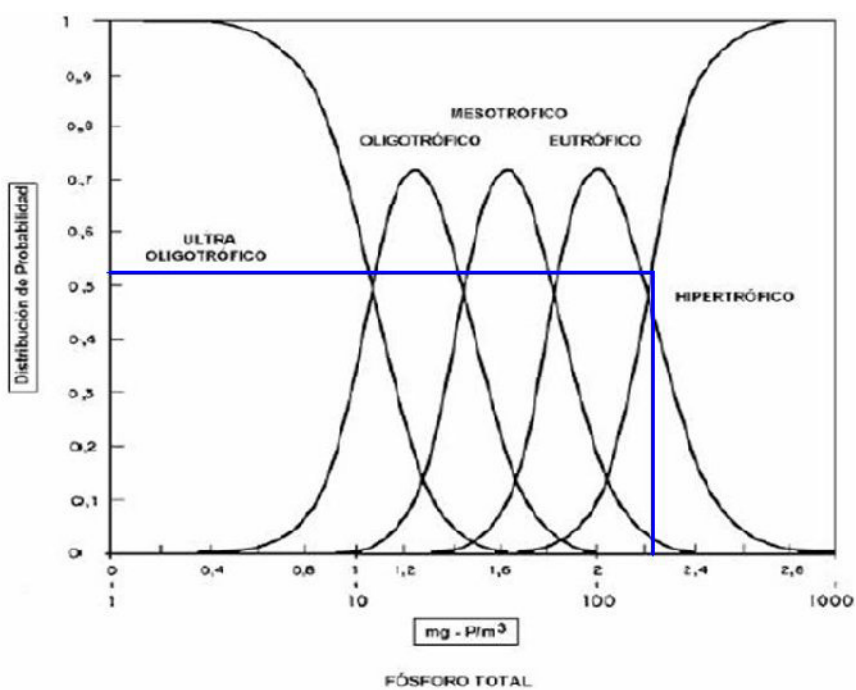


Estado trófico Mérida (83 mg/m³)

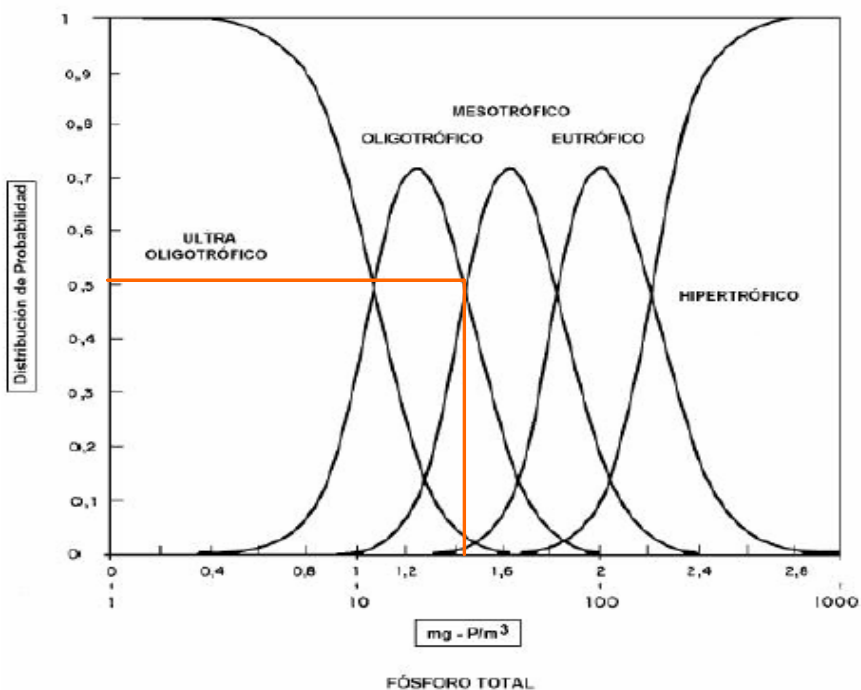




Estado trófico Moyogalpa (222 mg/m³)



Estado trófico Santo Domingo (51 mg/m³)





ANEXO XIV



AREAS AGRICOLAS EN LAS FALDAS DEL
VOLCAN CONCEPCION



AREAS BOSOCOSAS EN LAS FALDAS DEL
VOLCAN CONCEPCION

ANEXO XV

Manejo inadecuado de los desechos sólidos



En los alrededores de la Isla se lograron identificar pequeñas fuentes que contaminan gradualmente la microcuenca.



Las fotos muestran restos de bolsas plásticas de cloro y ase, (foto izquierda arriba) y botellas plásticas de aceite (foto izquierda abajo).



ANEXO XVI

Fertilizantes usados en la Isla Ometepe

El uso de fertilizantes en la microcuenca es comúnmente utilizado por los agricultores en la preparación de las tierras y cuidado de los cultivos.

Mientras algunos Fertilizante señalan una incidencia moderada en el ambiente como se muestra en la fotografía a la derecha, otros como el **GLUFOSINATE AMMONIUM** presentado abajo, foto izquierda; es un producto toxico para peces, contaminante de ríos y lagos, indicaciones que se muestran en la parte trasera del producto.





Estimación de la carga de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) proveniente de la cuenca de drenaje superficial de la Isla Ometepe hacia el Lago Cocibolca.

ANEXO XVII.

Datos de Fósforo Total y Cálculo de estado trófico

Fosforo total																	
La Jaula	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005		0.124	0.065	0.123	0.136	0.129	0.002	0.003	0.182				0.110	0.080	0.095	
	2006 Superficial		0.100	0.160	0.060	0.060	0.070	0.040	0.050	0.060	0.070	0.080	0.030		0.071		
	2007		0.050	0.060	0.490	0.050	0.050	0.040	0.030	0.060	0.020	0.030	0.030	0.040	0.079	0.082	
	2005		0.213	0.284	0.155	0.252	0.207	0.003	0.009	0.205				0.110	0.110	0.155	
	2006 Media		0.110	0.160	0.060	0.070	0.070	0.040	0.040	0.060	0.070	0.050	0.030		0.069		0.087
	2007		0.050	0.070	0.060	0.040	0.050	0.040	0.030	0.050	0.020	0.040	0.040	0.040	0.044	0.089	
	2005		0.226	0.232	0.148	0.226	0.181	0.003	0.015	0.188				0.140	0.100	0.146	
	2006 Fondo		0.110	0.160	0.060	0.080	0.070	0.040	0.050	0.050	0.080	0.040	0.030		0.070		
	2007		0.040	0.080	0.150	0.040	0.050	0.050	0.030	0.050	0.020	0.040	0.040	0.040	0.053	0.089	
Fosforo total																	
Los Angeles	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005		0.081	0.161	0.110	0.174	0.161	0.005		0.204	0.001			0.110	0.090	0.110	
	2006 Superficial			0.110	0.060	0.070	0.060	0.040	0.070	0.090	0.060	0.050	0.020		0.063		
	2007		0.040	0.060	0.110	0.040	0.050	0.040	0.030	0.090	0.040	0.030	0.050	0.040	0.052	0.075	
	2005		0.174	0.239	0.180	0.200	0.219	0.003	0.013	0.109	0.001			0.120	0.100	0.123	
	2006 Media			0.140	0.070	0.060	0.060	0.040	0.050	0.070	0.060	0.060	0.030		0.064		0.081
	2007		0.060	0.060	0.050	0.040	0.100	0.040	0.030	0.060	0.020	0.050	0.030	0.040	0.048	0.079	
	2005		0.219	0.271	0.148	0.174	0.207	0.005	0.022	0.202	0.001			0.130	0.110	0.135	
	2006 Fondo			0.190	0.060	0.100	0.080	0.040	0.060	0.060	0.070	0.060	0.004		0.072		
	2007		0.040	0.070	0.160	0.060	0.070	0.030	0.040	0.050	0.030	0.040	0.040	0.050	0.057	0.088	
Fosforo total																	
Estacion Bio	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005		0.181	0.258	0.142	0.155	0.155	0.004	0.015	0.219	0.001			0.120	0.080	0.121	
	2006 Superficial			0.120	0.060	0.060	0.060	0.040	0.050	0.050	0.050	0.050	0.030		0.057		
	2007		0.050	0.060	0.060	0.040	0.040	0.020	0.030	0.040	0.020	0.030	0.040	0.050	0.040	0.073	
	2005		0.110	0.297	0.155	0.194	0.174	0.004	0.014	0.238	0.020	0.120	0.140	0.080	0.129		0.110
	2006 Media		0.120	0.140	0.070	0.070	0.070	0.040	0.060	0.050	0.060	0.050	0.030		0.069		
	2007		0.040	0.070	0.060	0.040	0.040		0.030	0.050	0.020	0.030	0.040	0.050	0.043	0.080	
	2005		0.142	0.207	0.607	1.723	0.271	0.009	0.014	0.232	0.002	0.190	0.180	0.110	0.307		
	2006 Fondo		0.190	0.150	0.110	0.070	0.070	0.040	0.050	0.060	0.060	0.070	0.030		0.082		
	2007		0.040	0.080	0.460	0.180	0.040	0.220	0.030	0.460	0.030	0.040	0.040	0.050	0.139	0.176	
Fosforo total																	
Moyogalpa	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005		0.155	0.194	0.142	0.290	0.187	0.018		0.267	0.003	0.160	0.140	0.090	0.150		
	2006 Superficial		0.160	0.100	0.060	0.070	0.150	0.040	0.050	0.050	0.040	0.050	0.020		0.072		
	2007		0.030	0.040	0.050	0.050	0.060	0.040	0.030	0.060	0.020	0.040	0.030	0.050	0.042	0.088	
	2005		0.181	0.271	0.207	0.445	0.200	0.012		0.386	0.003	0.200	0.140	0.110	0.196		
	2006 Media		0.200	0.110	0.090	0.060	0.100	0.050	0.050	0.060	0.040	0.060	0.030		0.077		0.222
	2007		0.040	0.050	0.050	0.050	0.060	0.040	0.030	0.060	0.030	0.040	0.040	0.050	0.045	0.106	
	2005		0.209	0.542	0.561	0.381	0.542	0.008		0.090	0.004	0.180	0.200	0.120	0.258		
	2006 Fondo		0.180	0.270	0.560	0.070	0.140	0.230	0.170	0.070	0.040	0.220	0.530		0.225		
	2007		0.130	0.060	0.430	0.060	3.910	0.040	0.230	0.510	0.470	4.820	0.210	0.370	0.937	0.473	
Fosforo total																	
Merida	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005										0.003				0.080	0.042	
	2006 Superficial				0.060			0.030			0.060				0.050		
	2007				0.140			0.010			0.020				0.060	0.050	0.050
	2005										0.003				0.080	0.042	
	2006 Media				0.070			0.040			0.060				0.057		0.083
	2007				0.060						0.020				0.050	0.043	0.047
	2005										0.002				0.080	0.041	
	2006 Fondo				0.300			0.350			0.050					0.233	
	2007				0.050			0.240			0.010				0.440	0.185	0.153
Fosforo total																	
Sto Domingo	Año	Profundidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promed	Valor medio	Gran Media
	2005										0.030				0.080	0.055	
	2006 Superficial				0.060			0.040			0.050				0.050		
	2007				0.050			0.010			0.030				0.040	0.033	0.046
	2005										0.003				0.090	0.047	
	2006 Media				0.060			0.040			0.060				0.053		0.051
	2007				0.060			0.020			0.030				0.050	0.040	0.047
	2005										0.004				0.100	0.052	
	2006 Fondo				0.080			0.060			0.060					0.067	
	2007				0.060			0.020			0.110				0.050	0.060	0.060